

WOJCIECHOWSKI Andrzej<sup>1</sup>  
ŁUKASIK Zbigniew<sup>2</sup>

## Recykling pojazdów elektrycznych i hybrydowych

### WSTĘP

Od kilkudziesięciu lat rozwój motoryzacji wywiera dominujący wpływ na postęp zarówno w dziedzinie technologii, jak i w zakresie doboru materiałów. Konkurencja i wymagania klientów oraz nowo tworzone przepisy prawne Unii Europejskiej narzucają producentom samochodów określone wymagania, wśród których można wymienić:

- niską cenę;
- zwiększenie komfortu jazdy i bezpieczeństwa użytkownika;
- zmniejszenie zużycia paliwa poprzez:
  - zmniejszenie masy pojazdu,
  - zmniejszenie oporów powietrza podczas jazdy,
  - zwiększenie sprawności układu jezdnego oraz przeniesienia napędu,
  - zwiększenie sprawności silnika;
- działania proekologiczne polegające na:
  - zmniejszeniu emisji szkodliwych produktów spalania,
  - zastosowaniu alternatywnych źródeł energii,
  - uproszczeniu utylizacji materiałów (recykling i odzysk produktowy oraz materiałowy).

Projektanci nowych pojazdów dążą do zmniejszenia ich masy w celu zmniejszenia emisji CO<sub>2</sub>, co ściśle wiąże się ze zmniejszeniem zużycia paliwa. Oczekuje się, iż będą wykorzystywać nowe materiały konstrukcyjne oraz bardziej przyjazne dla środowiska napędy i paliwa. Materiały konstrukcyjne zastosowane do budowy samochodów przyszłości (EV, HEV, H<sub>2</sub>) zawierają coraz więcej polimerów i stopów aluminium, magnezu, jak również metali ziem rzadkich, a także metalowych oraz polimerowych materiałów kompozytowych (MMC, OMC). Jednocześnie w pojazdach przyszłości zwiększa się liczba katalizatorów w ogniach paliwowych (zawartość metali szlachetnych w ogniach paliwowych jest od 15 do 200 razy większa, niż w konwertorze katalitycznym, stosowanym w pojazdach konwencjonalnych). Stąd operacje demontażu i rozdrabniania wymagać będą modyfikacji, zaś recykling materiałów w odzysku materiałowym, jak również z pozostałości ze strzępiarek, powinien przyczynić się do odzysku metali szlachetnych, metali ziem rzadkich i metali deficytowych [1, 2].

Pod koniec lat osiemdziesiątych w krajach wysoko uprzemysłowionych podjęto starania o większą ochronę środowiska naturalnego i zasobów naturalnych Ziemi, co było ściśle związane z rozwojem motoryzacji i jej skutkami. Wraz z rozpowszechnieniem motoryzacji na świecie wzrasta bowiem problem dotyczący recyklingu samochodów wycofanych z eksploatacji oraz produktów ich eksploatacji, który powinien zostać rozwiązany w jak najszybszym czasie.

Samochód wycofany z eksploatacji staje się niebezpiecznym odpadem zanieczyszczającym środowisko. Dlatego też na obecnym etapie, należy rozwiązać szereg zagadnień mających na celu zwiększenie podatności konstrukcji pojazdu dla odzysku materiałów już w fazie projektowania poprzez technologie proekologiczne i racjonalne ekonomicznie, szczególnie dla nowych pojazdów elektrycznych (EV), hybrydowych (HEV) oraz z ogniwami paliwowymi na wodór (H<sub>2</sub>).

<sup>1</sup> Instytut Mechaniki Precyzyjnej w Warszawie; 01-796 Warszawa; ul. Duchnicka 3. Tel. +48 22 560 26 15, andrzej.wojciechowski@imp.edu.pl

<sup>2</sup> Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu; 26-600 Radom; ul. Malczewskiego 29. z.lukasik@uthrad.pl

## 1 RECYKLING SAMOCHODÓW WYCOFANYCH Z EKSPLOATACJI

W 1991 roku Komisja Europejska (European Commission - EC) zainicjowała program określenia strategii przetwarzania pojazdów wycofanych z eksploatacji (złomowanych). Program ten stał się priorytetowym i miał na celu odzysk materiałów i zmniejszenie ilości odpadów. Ustalono konieczność stałego zmniejszania ilości tzw. pozostałości motoryzacyjnych, stanowiących dotychczas bezużyteczne odpady, poprzez obligatoryjne rozwiązania prawne, tj. Dyrektywy Unii Europejskiej. Dyrektywy te implementowane przez poszczególne rządy krajów europejskich stają się prawem lokalnym na danym obszarze. W ten sposób powstała Dyrektywa EC 91/56 z 18.03.97r. W ślad za nią Komisja Europejska uchwaliła Dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady Europy 2000/53/EE z 18.09.2000 r., w sprawie samochodów wycofanych z eksploatacji, która jest obecnie podstawą zharmonizowanego europejskiego działania w zakresie recyklingu samochodów. Dyrektywa ta określa skuteczność recyklingu w przyszłości, a mianowicie:

- określono wymagania odnośnie infrastruktury zakładów demontażu, zapewniające przestrzeganie norm ochrony środowiska;
- producenci/importerzy samochodów muszą przejąć w pełnej wysokości, względnie w istotnej części, koszty recyklingu pojazdów;
- do 2015 roku co najmniej 95% średniej masy początkowej starego pojazdu wycofanego z eksploatacji musi zostać użytecznie wykorzystane, w tym co najmniej 85% powinno stanowić ponowne użycie i recykling.

Maksymalnie 5% początkowej masy złomowanego pojazdu wycofanego z eksploatacji (PWzE) może stać się odpadem umieszczanym na składowiskach odpadów, reszta musi ulec odzyskowi w postaci części i zespołów, możliwych do ponownego użycia jako części zamienne, surowce wtórne lub przez spalanie umożliwić tzw. odzysk energetyczny. Ponadto wszyscy producenci samochodów powinni opracować szczegółowe technologie demontażu oraz metody odzysku części i materiałów przeznaczonych do pojazdów przez nich produkowanych.

Etapy recyklingu/demontażu wycofanego z eksploatacji (złomowanego) pojazdu ogólnie można podzielić na następujące etapy:

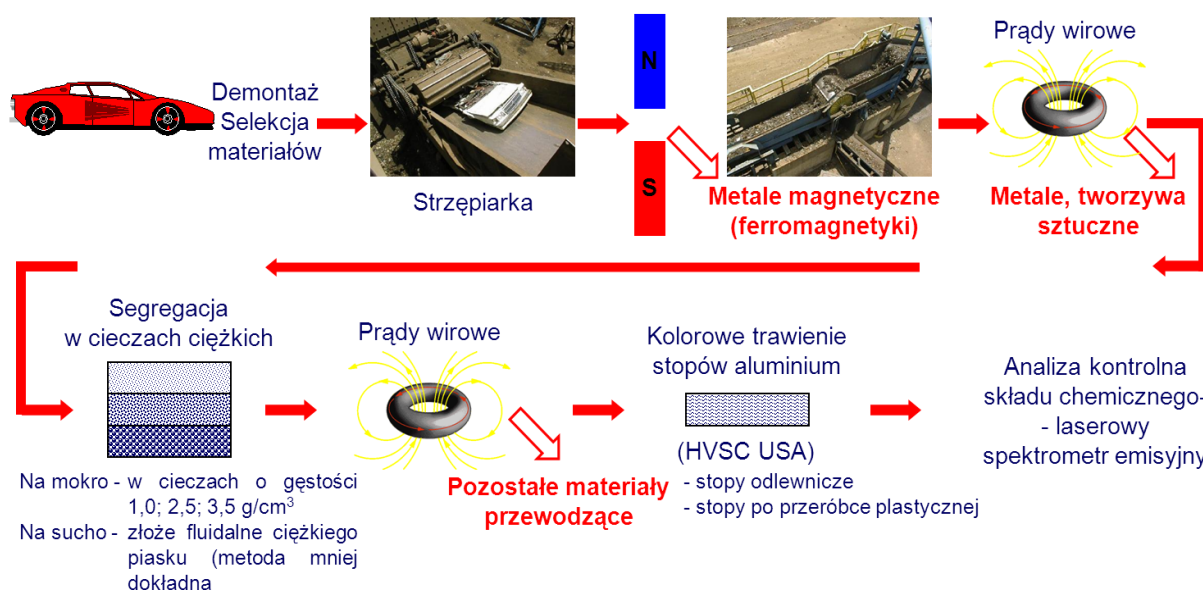
- demontaż akumulatora,
- demontaż poduszek powietrznych, instalacji gazowych,
- osuszenie pojazdu z paliwa, olejów, płynów eksploatacyjnych: hamulcowych, do spryskiwaczy, z układów klimatyzacji np. freonów, chłodniczych (niskokrzepnących), elektrolit z akumulatorów - średnio ok. 17 litrów różnych płynów eksploatacyjnych na samochód,
- usuwanie szyb, kół i opon,
- demontaż i segregacja tworzyw sztucznych w tym zderzaków, desek rozdzielczych, reflektorów,
- demontaż siedzeń, drzwi, pokryw,
- demontaż silnika, przekładni, katalizatorów, alternatora, rozrusznika, wału napędowego,
- usuwanie tapicerki, pianek, wykładzin, instalacji elektrycznej,
- strzępienie karoserii z pozostałymi elementami,
- segregacja materiałów.

Z powodu zastosowania nowych i innowacyjnych materiałów o złożonej budowie (np. metalowe i organiczne materiały kompozytowe, materiały warstwowe i wieloskładnikowe, piany metaliczne) oraz szereg nowych technologii produkcji, należy stosować bardziej złożony proces odzyskiwania materiałów tj.:

- głęboki demontaż jako odzysk elementów i części do powtórnego wykorzystania,
- selekcję materiałów na rodzaje i gatunki,
- wstępne, mechaniczne segregowanie różnych materiałów,
- końcowe, termiczne, chemiczne i elektrochemiczne (lub inne) metody rozdzielania (segregacji, ekstrakcji) różnych połączonych materiałów, m.in. warstwowych,
- rozdrobnienie i selekcja tych materiałów z przeznaczeniem do ponownego odzyskania (wykorzystania).

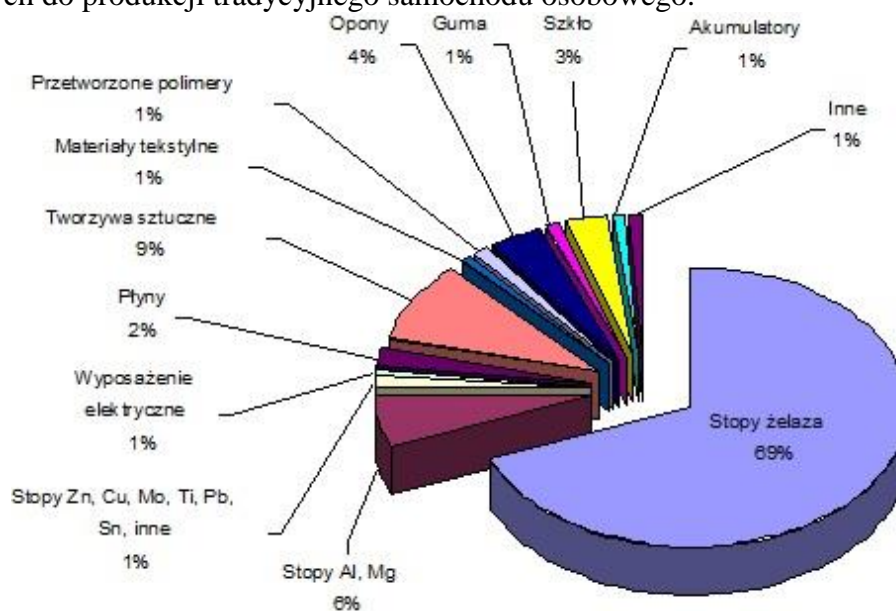
Wszystkie odzyskane materiały powinny być skierowane do przeróbki i po procesie ich uszlachetnienia przeznaczone do ponownego ich wykorzystania. Na przykład odzyskane polimery należy przeznaczyć na elementy mniej odpowiedzialne, natomiast sprawne części i podzespoły w miarę możliwości powinny być zagospodarowane na wtórnym rynku części zamiennych. Należy również dążyć do stosowania technologii odzyskiwania materiałów jak najmniej inwazyjnych dla środowiska, proekologicznych i uzasadnionych ekonomicznie.

Podczas recyklingu samochodów i pojazdach EV i HEV dla lepszego wykorzystania materiałów deficytowych niezbędny jest demontaż elementów elektroniki i elektrotechniki, które następnie są skierowane do dalszego zagospodarowania produktowego lub do odzysku materiałowego. Pozostałe elementy po wstępnym demontażu skierowane są do rozdrobnienia (strzępienia) i dalszej separacji, jak przykładowo pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat odzysku materiałowego na przykładzie stopów aluminium [1]

Na rysunku 2 przedstawiono uśredniony udział procentowy różnych rodzajów materiałów stosowanych do produkcji tradycyjnego samochodu osobowego.



Rys. 2. Średni udział materiałów w produkcji tradycyjnego samochodu osobowego [3]

Niezwykle istotnym obecnie aspektem konstrukcji nowo produkowanych pojazdów jest dążenie do zmniejszenia ich masy w celu ograniczenia zużycia paliwa, w tym zmniejszenia emisji szkodliwych związków chemicznych, jak również dążenie do wzrostu bezpieczeństwa użytkownika, co z kolei wymusza zastosowanie innowacyjnych technologii oraz nowych lekkich materiałów konstrukcyjnych, takich jak: aluminium, magnez, polimery oraz metalowe i polimerowe materiały kompozytowe głównie kosztem stali.

## 2 KIERUNKI ROZWOJU MOTORYZACJI

Dyrektywy UE dotyczące pojazdów wycofanych z eksploatacji wymuszają na producentach znaczne zmniejszenie strumieni odpadów z nich powstających, a szczególnie w zakresie lekkiej frakcji po strzępieniu/rozdrobnieniu. Jednocześnie coraz większe rozpowszechnienie pojazdów elektrycznych i elektrycznych – hybrydowych, zgodnie z Dyrektywą UE 2000/53/2000 zobowiązuje ich producentów do opracowania wytycznych w zakresie technologii odzysku i recyklingu. Liczba pojazdów z napędem elektrycznym (EV) i elektrycznym hybrydowym (HEV) zdecydowanie wzrasta. Pojazdy EV używane są zwykle do poruszania się na niewielkich odległościach, głównie w miastach; mają różną budowę i przeznaczenie. Ich zasięg jest stosunkowo niewielki (ok. 120 km), co wydaje się wystarczające do przemieszczania się do pracy i z pracy do domu (ok. 30-50 km). Pojazdy HEV mają napęd składający się z silnika spalinowego wewnętrznego spalania oraz z silnika elektrycznego, napędzanego z akumulatora. Stąd też HEV może osiągać większe przebiegi bez potrzeby zasilania w paliwo, niż podobne pojazdy konwencjonalne. W pojeździe takim energia zgromadzona w akumulatorze wykorzystywana jest do zasilania silnika elektrycznego w sytuacji, gdy potrzebna jest dodatkowa moc, na przykład przy wyprzedzaniu innego pojazdu. Niektóre pojazdy HEV posiadają również układ hamowania odzyskowego, umożliwiający odzyskiwanie części energii traconej podczas hamowania [4]. Natomiast pojazdy napędzane za pomocą ogniw paliwowych, w których paliwem jest wodór (H<sub>2</sub>) są obecnie na etapie badań i wdrażania do jednostkowej produkcji. Konstrukcja pojazdu EV i HEV nie różni się od tradycyjnych pojazdów spalinowych poza jednostką napędową oraz zasilaniem.

Recykling samochodów i produktów zużytych w trakcie ich eksploatacji z punktu widzenia ekologii stał się bezwzględnie koniecznością. Prawidłowo prowadzony recykling samochodów po zdemontowaniu wielu podzespołów i osuszeniu może w krótkim czasie przynieść poważne efekty w postaci odzysku cennych części i materiałów, a przede wszystkim poprawić stan środowiska naturalnego w Polsce. Ponadto poprzez zastosowanie odzysku materiałowego, który zyskuje na znaczeniu logistycznym i gospodarczym, może nastąpić w pewnej części zaspokojenie energetyczne, pochodzące z przerobu odpadów organicznych metodą rozkładu termicznego dla potrzeb pozyskania produktów wysoce energetycznych (olej, gaz, karbonizat) [5]. Nowe materiały i innowacyjne technologie pozwalają na wykonanie coraz nowocześniejszej mikroelektroniki oraz konstrukcji pojazdów ze szczególnym uwzględnieniem lekkości konstrukcji, niezawodności i bezpieczeństwa użytkownika.

### 2.1 Pojazdy przyszłości

#### Napędzane za pomocą ogniw paliwowych

Wodorowe ogniwa paliwowe obiecują bardziej czysty i wydajny sposób generowania mocy. Głównym powodem braku powszechnego zastosowania ogniw paliwowych jest ekonomiczna dostępność wodoru – pierwiastka najszerzej występującego we Wszechświecie.

Pakiet ogniw paliwowych składa się z wielokrotności jednostkowych zespołów różnych materiałów. W typowej strukturze pakietu, każda jednostka składa się z zespołu elektrody membranowej (MEA) oraz płytek dwubiegunowych (czynnych). Poza tymi powtarzającymi się jednostkami, wzdłuż pakietu umieszczone są w określonych miejscach płytki chłodzące. Pakiet jest na ogół obudowany płytkami izolacyjnymi, z płytkami końcowymi ze ściągami, sprężynami naciskowymi, paskami metalowymi i/lub podobnymi urządzeniami, utrzymującymi pakiet w całości. Pakiet wyposażony jest w elementy komputerowe systemu operacyjnego, jak element monitorujący napięcie w ogniwach. MEA składa się wielu materiałów ułożonych warstwowo. Warstwy te mogą

obejmować warstwę dyfuzji gazu (GDL), katalizator anodowy, membranę przewodzenia protonów, katalizator katodowy i drugą GDL. Obie GDL wykonane są typowo z tkaniny na bazie węgla, z polimerową powłoką (np. wykonaną z Teflonu™), która ułatwia dyfuzję reagentów i wody. Katalizator anodowy i katodowy wykonane są typowo z platyny (Pt), platyny/rutenu (Pt/Ru), lub ich kombinacji z innymi metalami, opartymi na węglu w stałym roztworze jonomerowym, podobnym do materiału membrany. Płytki dwubiegunowe i chłodzące typowo wykonane są z przewodzącego, prasowanego materiału termoutwardzalnego (jak żywice fenolowe i estry winylu) oraz materiałów termoplastycznych (np. PP i PE, zwykle z dużą zawartością grafitu) lub z materiału odpornego na korozję. Recykling materiałów z ogniw paliwowych pojazdów ograniczany jest przez wiele czynników. Najważniejsze z nich to dostępna technologia przetwarzania i oddzielania materiałów, zawartość materiałów niebezpiecznych oraz efektywność ekonomiczna operacji odzyskania tych materiałów [1].

### **Elektryczne i elektryczne hybrydowe**

Od lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku do zastosowania w akumulatorach/bateriach służących do zasilania silnika elektrycznego (lub kilku silników w pojazdach EV i HEV) typowano i prowadzono badania kilkunastu związków chemicznych. Obecnie w samochodach EV i HEV znalazły zastosowanie następujące akumulatory/baterie: beta sodowe, niklowo-cynkowe, niklowo-żelazowe (ogniwa Edisona), niklowo-kadmowe (Ni-Cd), kwasowo-ołowiowe, z wodorkiem niklowo-metalowym (Ni-MH), litowo-jonowe (Li-ion), z polimerem litowym, litowo-jonowe z elektrolitem polimerowym, litowo-niklowo-manganowe, litowo-magnezowe, sodowo-niklowo-chlorowe, sodowo-siarkowe (wysokotemperaturowe) oraz kilka innych. Obecnie wydaje się, że konkurencję wygrywiają akumulatory Ni-MH i litowe.

Pojazdy HEV na ogół ładują się same podczas pracy. Wszystkie testowane akumulatory, jak wskazują ich nazwy, zawierają związki chemiczne, które nie są przyjazne dla środowiska, a które będą wymagały specjalnego traktowania po zakończeniu okresu eksploatacji. Akumulatory kwasowo-ołowiowe są akumulatorami najpowszechniej obecnie stosowanymi, i od dawna dopracowano technologię ich skutecznego, kompleksowego recyklingu. Akumulatory niklowo-żelazowe (tzw. ogniwa Edisona) oraz Ni-Cd komorowe i z płytką spiekaną, są w użyciu od lat i są poddawane procesom recyklingu. Akumulatory sodowo-siarkowe są akumulatorami wysokotemperaturowymi i stwarzają problemy z bezpieczeństwem z uwagi na zawartość sodu. Akumulatory litowo-jonowe zawierają elektrolit z rozpuszczonej soli. W cynkowych i aluminiowych bateriach ogniw z depolaryzacją powietrzną, aluminium lub cynk wykorzystywane są jako anoda protektorowa. W miarę generowania energii elektrycznej w baterii, anoda rozpuszczana jest w elektrolicie. Po całkowitym rozpuszczeniu anody, zakładana jest nowa. Aluminium i/lub cynk oraz elektrolit usuwane są z pojazdu i powinny zostać przekazane do odzysku materiałowego. Pojazdy o napędzie hybrydowym i elektrycznym wymagają zastosowania innych typów akumulatorów oraz większej ilości katalizatorów wykorzystujących metale szlachetne (np. zasilanie ogniwami paliwowymi). Wszystkie te materiały w końcowej fazie życia pojazdów, powinny zostać poddane recyklingowi, co wymaga opracowania nowych technologii demontażu, utylizacji lub ponownego wykorzystania surowców.

W 2030 r. pojazdy hybrydowe będą stanowiły na rynku Ameryki Północnej ok. 10%, natomiast ich sprzedaż ma wynieść ok. 30%. W Europie napędy hybrydowe zaczynają konkurować z silnikami o zapłonie samoczynnym, a handel nimi w krajach azjatyckich odbywać się będzie głównie w krajach OECD (Japonia, Australia, Nowa Zelandia) [6].

## **2.2 Recykling zużytych akumulatorów**

Zużyte akumulatory stanowią zagrożenie dla środowiska naturalnego ze względu na rodzaj stosowanych materiałów. Są odpadem bardzo niebezpiecznym i z tego powodu dodatkowo podlegają opłacie produktowej. Około 95% akumulatorów tzw. ołowiowych podlega gromadzeniu. Kwas jest neutralizowany, a ołów odzyskiwany przez przetapianie. Obudowy akumulatorów wykonane z tworzyw sztucznych (polipropylen i kopolimer polipropylenu) są najczęściej przetwarzane na osłony nadkoli do samochodów. Rocznie w kraju wycofuje się z eksploatacji około 5 mln akumulatorów, głównie kwasowo-ołowiowych. Stanowią one źródło cennych surowców, takich jak: ołów i jego

związki (73,5%), kwas siarkowy (18,6%), polipropylen (PP) (5,3%), polichlorek winylu (PVC) (2,6%). W kraju funkcjonują trzy zakłady recyklingu akumulatorów - ZGH „Orzeł Biały” w Bytomiu, „Baterpol” w Świętochłowicach oraz ZAP Sznajder Batterien, które zajmują się przerobem akumulatorów ołowiowych, stosując najnowocześniejsze technologie. Zakłady te są w stanie przerobić bardzo duże ilości złomu akumulatorowego. Główny problem efektywnego odzysku tkwi w logistyce pozyskania i transportu wyeksploatowanych akumulatorów. Aktualnie w Polsce brak jest przedsiębiorstw zajmujących się recyklingiem akumulatorów innych niż kwasowo-ołowiowe.

Dodatkowe problemy do rozwiązania pojawiły się w momencie wystąpienia na drogach dużej liczby tzw. ekologicznych samochodów elektrycznych EV i HEV, które napędzane są różnorodnymi bateriami zawierającymi przeróżne deficytowe metale ziem rzadkich, których odzysk jest bardzo skomplikowany, lecz również niezbędny.

Wszystkie baterie zawierają mniej lub bardziej niebezpieczne dla środowiska substancje, metale i związki chemiczne, które będą wymagały specjalnego traktowania po zakończeniu okresu ich eksploatacji. Pojazdy o napędach alternatywnych albo te, które wykorzystują paliwa alternatywne stanowią istotny etap wdrażania w transporcie zasad zrównoważonego rozwoju. Oczekuje się, że pojazdy elektryczne i hybrydowe typu „plug-in” będą stanowić w 2020 r. ok. 7% rynku. Przybliżony skład chemiczny przykładowych wybranych rodzajów baterii/akumulatorów przedstawiono w tabeli 1 [1].

Tab. 1. Przybliżony skład chemiczny poszczególnych rodzajów baterii/akumulatorów [1]

Ogniwo	Zawartość składnika [%]												
	Fe	Mn	Zn	Ni	Pb	Co	Li	Cu	Al	C	Cd	Hg	inne
Cynkowo-węglowe	23	15	20		0,08					4	0,0002	0,0005	38
Cynkowo-manganowe	30	25	20		0,01					3		0,0005	22
Kwasowo-ołowiowe					65							0,0005	35
Niklowo-kadmowe	30			18		3					20	0,0005	29
Niklowo-wodorkowe	18			42		7						0,0005	33
Litowo-jonowe	22					18	3	8	8	2			39

Przykład 1: Bateria niklowo-metalowa [1]

W tabeli 2 przedstawiono wagowy udział procentowy materiałów oraz procentową wartość zastosowanych w budowie baterii Ni-MH.

Tab. 2. Udział procentowy materiałów i ich wartości w konstrukcji baterii Ni-MH

Materiał	Udział % masy baterii	Wartość % użytych materiałów
Ni(OH) <sub>2</sub>	26,32	28,5
Ni	15,79	11,4
MH(AB <sub>2</sub> )	23,16	23,4
KOH	13,69	0,7
Stal	12,63	2,0
Miedź (Cu)	4,21	7,5
Kobalt (Co)	3,16	13,3
Separator	1,04	13,2

Baterie Ni-MH mogą być rozmontowywane w celu odzyskania części komponentów. Jest to głównie stal nierdzewna i nikiel (nikiel metaliczny i wodorotlenek niklu), będący materiałem dominującym (42% wagowo) i stanowiący około 40% kosztów materiału. Istnieją znane procesy technologiczne służące do odzysku i do recyklingu niklu i są one stosowane, przynajmniej w przypadku niewielkich ogni. Nikiel jest zwykle odzyskiwany z żelazem, do wykorzystania przy produkcji stali nierdzewnej. Podobnie, istnieją procesy do odzyskiwania innych materiałów, będących składnikami baterii, szczególnie do odzysku kosztownego kobaltu. Elektrody metalowo-wodorkowe, stanowiące około 23% wagowo, jak i kosztów materiałów, obecnie nie są poddawane recyklingowi, jako produkty o wartości dodanej. Na przykład wykorzystywane są one, jako małowartościowe kruszywo drogowe. Zawierają metale ziem rzadkich – cyrkon i tytan – które są drogie, a zarazem ich produkcja i czyszczenie są energochłonne. A zatem niezbędny jest proces odzyskiwania i recyklingu wodorków niklu. Warto również odzyskiwać separator, stanowiący ok. 13% kosztu materiałów, lecz tylko 1% wagowo, jako podrabiany "separator", gdyż koszt wytworzenia go z pierwotnych materiałów konstrukcyjnych pochłania przeważającą część kosztów z nim związanych.

**Przykład 2: Bateria litowo-jonowa (Li-Ion) [1]**

W tablicy 3 przedstawiono wagowy udział procentowy materiałów oraz procentową wartość zastosowanych w budowie baterii Li-Ion.

Tab. 3. Udział procentowy materiałów i ich wartości w konstrukcji baterii Li-Ion

Materiał	Udział % masy baterii	Wartość % użytych materiałów
LiMO <sub>2</sub> (katoda)	41,0	50,0
Grafit	16,4	11,0
Elektrolit	18,0	22,0
Inne	3,4	3,0
Spoiwo	4,7	5,0
Miedź (Cu)	4,4	1,0
Aluminium (Al)	10,3	1,0
Separator	1,8	7,0

Demontaż tych ogni jest o wiele trudniejszy, o ile w ogóle jest on możliwy. Na przykład, materiały tworzące katodę (50% wagowo) są ze sobą trwale połączone (zalaminowane). Ponadto, ponieważ lit niezwykle łatwo reaguje z tlenem atmosferycznym, ogniwa muszą być przetwarzane w środowisku obojętnym, lub w niskich temperaturach i nawet wtedy mogą zagrażać bezpieczeństwu operatorów. Katoda i anoda są głównymi celami recyklingu. Można tu jeszcze dodać grafit, jakkolwiek jest to materiał o stosunkowo niewielkiej wartości. Może jednak być wykorzystywany do innych celów.

Akumulatory Li-Ion pod względem materiałów są podobne do tych stosowanych w pojazdach elektrycznych. Jednakże akumulatory te wykorzystywane w samochodach hybrydowych mają zwiększoną powierzchnię materiału elektrod, umożliwiając produkcję większej mocy elektrycznej.

**Przykładowe procesy recyklingu baterii/akumulatorów**

- **Proces recyklingu baterii Ni-MH składa się z następujących etapów:**
  - sortowanie,
  - rozładowanie resztkowej energii z baterii,
  - rozkład termiczny części organicznych głównie tworzyw sztucznych,
  - metalurgia ekstrakcyjna tj. topienie i oczyszczanie metali,
  - odzyskiwanie niklu i żelaza, do wykorzystania w produkcji stali nierdzewnej,
  - odsyłanie elementów wodorku metalu jako żużła (niska wartość, wykorzystany m.in. jako kruszywo drogowe).

Dodatkowe procesy:

- Utlenianie kadmu w temperaturze 760°C,
  - Destylacja w temperaturze 900°C przez 24 godziny,
  - Oczyszczanie i preparowanie pozostałości Ni-Fe.
- **Proces recyklingu baterii litowych, litowo-jonowych składa się z następujących. etapów:**
- sortowanie,
  - rozładowanie resztkowej energii z baterii,
  - schłodzenie baterii do temperatury co najmniej -160°C przy użyciu ciekłego azotu, Uważa się, że w takiej temperaturze lit, który jest wybuchowy w temperaturze pokojowej, jest stosunkowo bezpieczny,
  - cięcie i rozdrabnianie baterii,
  - separacja rozdrobnionego materiału (sortowanie),
  - konwersja litu na węglan litu lub tlenku litu,
  - neutralizowanie elektrolitów do postaci trwałych związków,
  - odzyskiwanie kobaltu z tlenku litowo-kobaltowego ( $\text{Li CoCO}_3$ ), jeśli występuje.
- Obszary wymagające prowadzenia dalszych badań w celu opracowania technik przeznaczonych do uwzględnienia w istniejących procesach odzysku i recyklingu:
- odzyskiwanie i recykling wodorków niklu z ogniwa Ni-MH,
  - odzyskiwanie i recykling katody i elektrolitu w ogniwie litowo-jonowym,
  - oddzielanie i odzysk separatorów,
  - dopracowanie możliwości regeneracji, w celu wykorzystania ogniwa do innych zastosowań (jako urządzenie magazynujące energię dla stacjonarnych źródeł mocy),
  - konstrukcyjnie należy dążyć do ułatwienia demontażu zużytych baterii i ich recyklingu.

### 3 ODZYSK MATERIAŁOWY

Istniejące procesy recyklingu/odzysku materiałowego baterii litowo-jonowych i Ni-MH oraz pakietów ogniw oparty jest na operacji topienia, w której baterie, pakiety ogniw i inne materiały wyjściowe ładowane są do pieca bez żadnej wstępnej obróbki, co minimalizuje wszelkie ryzyko dla operatorów, m.in. zapobiega powstawaniu rakotwórczych substancji niebezpiecznych tj. dioksyn i furanów. Warunki topienia są ściśle kontrolowane. W procesie można uzyskać czysty żużel i wykorzystać go m.in. w budownictwie i/lub jako kruszywo do betonu. W instalacji czyszczenia kobaltu i niklu, stopy zawierające te dwa pierwiastki mogą być poddawane dalszej obróbce, w celu uzyskania czystego kobaltu i niklu. W kolejnym procesie uzyskany kobalt przekształcany jest w końcowy dwutlenek litowo-kobaltowy ( $\text{LiCoO}_2$ ), który może być wykorzystany przy produkcji nowych baterii litowo-jonowych.

Projekt recyklingu akumulatorów niklowo-wodorkowych opracowała wspierana przez japoński rząd firma Jogmec [7]. Ma on na celu zwiększenie odzysku metali i powtórnego ich wykorzystania, a także zmniejszenie ilości odpadów niebezpiecznych. Ponadto firma ta stworzyła technologię zwiększenia odzysku niklu, kobaltu, stopu ceru/metali ziem rzadkich (lantan i cer) w celu ponownego ich użycia. Termiczne procesy odzyskiwania, stosowane dla ogniw Ni-Cd są przeznaczone głównie do recyklingu dużych ogniw przemysłowych. Stosowane są one w kolejnictwie, przez zakłady energetyczne, armię i spółki telekomunikacyjne, jako rezerwowe źródła energii; jak utylizuje się również niewielkie ogniwa Ni-Cd, używane w nadajnikach-odbiornikach, przenośnych narzędziach i urządzeniach elektrycznych, sprzęcie medycznym oraz w instalacjach awaryjnego oświetlenia. Odzyskany kadm wykorzystuje się do produkcji nowych baterii Ni-Cd. Nikiel i żelazo ponownie przetapia się na stop używany do produkcji stali nierdzewnej. Elektrolit z akumulatorów może być używany, jako reagent w oczyszczalniach ścieków.

Nowe technologie zagospodarowania odpadów, przyczyniają się do zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych oraz zanieczyszczenia środowiska. Pozyskanie surowców wtórnych z odpadów (odzysk materiałowy) pozwala na zmniejszenie zapotrzebowania i wydobycia surowców naturalnych,



co powinno przyczynić się do zmniejszenia degradacji środowiska naturalnego. Podjęte w ten sposób działania proekologiczne mogą skoncentrować się na następujących obszarach:

- oszczędność surowców i energii,
- eliminacja materiałów toksycznych,
- redukcja ilości i toksyczności odpadów stałych, ciekłych i gazowych,
- minimalizacja negatywnego oddziaływania w całym „cyklu życia produktu”.

Duży postęp w konstrukcji nowoczesnych pojazdów oraz w zapewnieniu bezpieczeństwa jazdy możliwy był głównie dzięki błyskawicznemu rozwojowi elektroniki. Szybki rozwój elektroniki, podobnie jak motoryzacja wymaga innowacyjnych technologii i nowymi materiałów. Wszystkie wspomagające systemy elektroniczne, które zaczęto obecnie powszechnie stosować, zwiększają bezpieczeństwo użytkownika dróg (np. skuteczność hamowania - przyczepność, kierowność itd.). Postęp techniczny w zakresie ograniczenia zużycia paliwa i emisji związków szkodliwych oraz wzrostu bezpieczeństwa i komfortu jazdy ściśle wiąże się ze stosowaniem wspomagających elektronicznych systemów sterujących. Bez elektroniki nie byłoby nowoczesnych układów wtrysku paliwa, systemów antypoślizgowych ani systemów stabilizacji toru jazdy i wielu innych.

Dynamika rozwoju gospodarczego przesądza o potrzebie rozwoju technik recyklingu odpadów oraz wycofanych z użytku elementów i odzysku cennych surowców. Recykling wiąże się również z redukcją emisji gazów cieplarnianych, bowiem podstawowe procesy przetwórstwa surowców (żelaza, aluminium, magnezu) wymagają dużych nakładów energetycznych i finansowych, inaczej natomiast przedstawia się kwestia odzysku i ich wtórnego przetopu, gdzie zapotrzebowanie na energię jest znacznie niższe. Oznacza to niższą emisję CO<sub>2</sub> do atmosfery.

W związku z wyczerpywaniem się zasobów naturalnych, jak również zwiększającym się zanieczyszczeniem środowiska oraz ze zwiększającą się ekologiczną świadomością społeczeństwa, naturalne staje się działanie powodujące spowolnienie tych negatywnych zjawisk, m.in. poprzez wdrażanie optymalnych, najlepszych technologii przerobu odpadów BAT (Best Available Technology).

### WNIOSKI

W Unii Europejskiej konieczność rozwiązania problemu recyklingu po amortyzacyjnego z wyeksploatowanych pojazdów znajduje odzwierciedlenie w dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej 2000/53/EC, która wymusza ponowne wykorzystanie surowców użytych do ich produkcji do minimum 95%, nie później niż do 1 stycznia 2015 roku. W związku z tym należy dążyć do:

- maksymalnego odzysku materiałowego z pojazdów wycofanych eksploatacji, szczególnie składników zespołów elektronicznych i instalacji elektrycznych pojazdów EV, HEV, H2, szczególnie „bogatych” w metale deficytowe i krytyczne;
- zastosowania najbardziej efektywnych technologii odzysku i utylizacji materiałów. Najbardziej zalecanym i opłacalnym jest odzysk produktowy a następnie materiałowy;
- maksymalnego odzysku materiałowego metali deficytowych, metali ziem rzadkich, szlachetnych, co pozwoli na uniezależnienie się kraju od ograniczeń importowych;
- zastosowanie nowych technologii odzysku i recyklingu odpadów, które likwidują obszary do tej pory mało poznane lub obciążone fałszywymi teoriami, co powoduje szybsze, tak pożądane, przejście do gospodarki zamkniętego obiegu materiałowego;
- maksymalizacji odzysku materiałowego w celu minimalizacji negatywnych dla środowiska skutków postępu i rozwoju przemysłu a w szczególności rozwoju motoryzacji;
- zwiększenia finansowania państwa projektów badawczo-rozwojowych w zakresie ochrony środowiska a szczególnie recyklingu i odzysku materiałowego odpadów poeksploatacyjnych.

### Streszczenie

*Główną ideą właściwego recyklingu jest stworzenie takich mechanizmów i rozwiązań technicznych oraz nowych technologii, aby efektywność zapobiegania degradacji środowiska była możliwie największa. W*

recyklingu należy zastosować proekologiczne i ekonomicznie uzasadnione technologie odzysku materiałowego ułatwiające ponowne ich wykorzystanie do produkcji nowych wyrobów.

Samochód po wycofaniu z eksploatacji staje się niebezpiecznym odpadem zanieczyszczającym środowisko. Szczególnie odnosi się to do pojazdów elektrycznych (EV), hybrydowych (HEV) oraz do pojazdów z ogniwami paliwowymi na wodór (H<sub>2</sub>). Z jednej strony trwają działania minimalizujące negatywne skutki rozwoju motoryzacji, zaś z drugiej - w efekcie recyklingu i odzysku materiałowego pojazdów wycofanych z eksploatacji - trwają prace mające na celu wdrożenie zamkniętego obiegu materiałowego.

Wobec narastającego zapotrzebowania na surowce oraz na wymogi ochrony środowiska, przetwarzanie odpadów pochodzących ze środków transportu staje się koniecznością gospodarczą oraz imperatywem nowoczesnej gospodarki. Recykling odpadów użytkowych staje się jedną z możliwości pozyskiwania m.in. tzw. metali deficytowych. Ponadto poprzez zastosowanie odzysku materiałowego, który zyskuje na znaczeniu logistycznym i gospodarczym, może nastąpić w pewnej części zaspokojenie energetyczne pochodzące z przerobu odpadów organicznych metodą rozkładu termicznego.

## Recycling of electric and hybrid vehicles

### Abstract

*The general idea of the proper recycling is to reach the highest possible level of prevention against environmental degradation by creation suitable mechanisms and effective technical solutions as well as by introducing efficient modern technologies. Applying environmentally friendly and economically viable material recovery technologies of recycling let to facilitate material re-use more flexible at the fresh new products manufacturing.*

*Each the end-of-life vehicle becomes a hazardous waste that pollutes environment. In particular this applies to the electric vehicles (EV), hybrid vehicles (HEV) and fuel cell vehicles powered by hydrogen (H<sub>2</sub>). The research is conducted in two complementary ways. On the one hand there is a work targeted at minimizing of the adverse effects of the automotive industry development, on the other there are attempts to close the material loop totally by implementing effective recycling and recovery of ELV material.*

*In view of the rising demand for raw materials and environmental protection requirements, processing waste derived from EOL means of transportation becomes an economic necessity and imperative of the modern economy. Recycling of post-consumer waste is becoming one of the possibilities of acquiring, among others, so-called scarce metals. Moreover, through the processing of organic waste material by thermal decomposition method, that currently gains logistical and economic importance, reasonable recycling may take remarkable part at energy sources supply.*

### BIBLIOGRAFIA

1. Wojciechowski A., Recykling samochodów. Materiały i technologie odzysku. Wyd. 2012r. ITS; ISBN 987-83-60965-14-6 i IOd ISBN987-83-88770-90-6;
2. Smakowski T.J., Surowce mineralne – krytyczne czy deficytowe dla gospodarki UE i Polski. Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energii Polskiej Akademii Nauk, nr 81, rok 2011.
3. Wojciechowski A., Rudnik D., Michalski R., Recykling samochodów wycofanych z eksploatacji – Odzysk materiałowy, 2006r., Biuletyn Informacyjny ITS 4/2006.
4. <http://www.futuretruck.org/technologies/what-hev.html>.