

WOJCIECHOWSKI Andrzej¹
DYDUCH Janusz²
LANKIEWICZ Konrad¹

Odzysk metali z elektroniki samochodowej i sprzętu AGD

WSTĘP

Wobec narastającego zapotrzebowania na surowce (głównie metale) oraz wymogi ochrony środowiska, przetwarzanie odpadów głównie złomu elektronicznego i elektrotechnicznego staje się koniecznością gospodarczą oraz imperatywem nowoczesnej gospodarki. Recykling odpadów staje się też jedną z możliwości pozyskiwania tzw. metali deficytowych i krytycznych [1].

Nowe materiały i technologie pozwalają na wykonanie coraz nowocześniejszej mikroelektroniki i konstrukcji podzespołów (lekkość konstrukcji, optymalna żywotność, niezawodność, miniaturyzacja), przez co konstrukcje pojazdów są bardziej bezpieczne i coraz bardziej zautomatyzowane (zminimalizowanie efektów wynikających z błędów człowieka). Zaangażowanie na rzecz czystych technologii energetycznych przez kraje uprzemysłowione głównie UE i przewidywanym wzroście w sektorach obronnym, energetyki i transportu zapewniają, że popyt na metale ziem rzadkich i ich związków będzie stale rosnący. Zapotrzebowanie to powoduje, że w celu zagwarantowania dla potrzeb niezakłócania innowacji technologicznych istotne jest zapewnienie bezpiecznych łańcuchów dostaw, choćby w procesie recyklingu i odzysku materiałowego.

Poprzez recykling i odzysk materiałowy złomu elektrotechnicznego i elektronicznego można odzyskać metale m.in. takie jak: aluminium, żelazo, magnez, cynk, mangan, nikiel, miedź, srebro, cyna, antymon, iryd, złoto oraz ołów i bizmut, które znajdują się w ilości potwierdzającej opłacalność przedsięwzięcia. Uwzględniając ponadto ograniczony dostęp i kurczące się zasoby wydobywcze metali ziem rzadkich, m.in. takich jak: lantan, cer, prazeodym, neodym, samar czy gadolin, których wysoka cena związana jest nie tylko z małą koncentracją w wydobywanych rudach, ale i z wysokimi kosztami ich wzbogacania, potwierdzona jest celowość odzysku. Pierwiastki te występują w coraz większych ilościach w budowie nowoczesnych środków transportu, np. w: elektronice, silnikach oraz akumulatorach do aut hybrydowych, ogniach, katalizatorach, elementach sterowania i bezpieczeństwa czynnego. Ponadto metale ziem rzadkich znajdują szerokie zastosowanie w przemyśle zaawansowanych technologii, przy produkcji turbin wiatrowych, energooszczędnych żarówek, ekranów i wyświetlaczy (LED, LCD, plazma), dysków twardej, obiektywów kamer, szkła, baterii, akumulatorów przemysłowych, sprzętu medycznego i uzdatniania wody.

Stale rosnące zapotrzebowanie na metale ziem rzadkich, głównie w przemyśle metalurgicznym, elektronicznym, obronnym czy też medycznym, wymaga poszukiwania alternatywnych źródeł ich pozyskiwania. Strategiczny charakter znaczenia gospodarczego metali ziem rzadkich, uzasadnia sposób ich recyklingu i odzysku materiałowego ze złomu poeksploatacyjnego pochodzącego z podzespołów urządzeń oraz ze sprzętu elektrycznego i elektronicznego w procesie rozkładu termicznego oraz metalurgii ekstrakcyjnej.

W czasach silnego rozwoju cywilizacyjnego występuje konieczność oszczędzania energii i surowców, jak również coraz bardziej wysuwa się na pierwszy plan ewolucja bezpiecznych, lekkich konstrukcji łatwych do recyklingu. Takie działania powodują dalszy postęp techniczny w poziomie niezawodności konstrukcji oraz bezpieczeństwie użytkowania i ochrony środowiska naturalnego m.in. poprzez zmniejszenie zużycia paliwa oraz zmniejszenie emisji substancji szkodliwych do atmosfery ze środków transportu m.in. przez zastosowanie nowoczesnych systemów elektronicznych.

Duży postęp w konstrukcji nowoczesnych pojazdów oraz w zapewnieniu bezpieczeństwa jazdy możliwy był nie tylko dzięki błyskawicznemu rozwojowi mikroelektroniki, m.in. ściśle związanej z

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

² Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu; 26-600 Radom; ul. Malczewskiego 29. Tel: + 48 48 j.dyduch@uthrad.pl

osiągnięciami inżynierii materiałowej. Tak szybki rozwój elektroniki jest także nierozdzielnie związany z nowymi technologiami i nowymi materiałami, jak również z motoryzacją. Wszystkie wspomagające układy elektroniczne, które zaczęto obecnie stosować, zwiększają bezpieczeństwo użytkownika dróg (np. skuteczność hamowania - przyczepność, kierowność, itd.). Postęp techniczny w dziedzinie ograniczenia zużycia paliwa i emisji związków szkodliwych oraz wzrostu bezpieczeństwa i komfortu jazdy ściśle wiąże się ze stosowaniem 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 CO₂ do atmosfery. Dobrym przykładem jest proces otrzymywania 1 kg Mg pierwotnego na drodze redukcji termicznej krzemem albo elektrolizy, w którym zapotrzebowanie energii wynosi 20 do 35 kWh, w zależności od sposobu przetwarzania i czystości materiału. Odzyskanie magnezu ze złomu wymaga natomiast dziesięć-krotnie mniejszego wydatku energetycznego (tylko ok. 3,5 kWh).

1 ZAPOTRZEBOWANIE NA MATERIAŁY ZIEM RZADKICH

W związku z wyczerpywaniem się zasobów naturalnych, jak również zwiększającym się zanieczyszczeniem środowiska, a także zwiększającą się ekologiczną świadomością społeczeństwa, naturalne staje się działanie mające na celu spowolnienie tych negatywnych zjawisk m.in. poprzez wdrażanie stosownych aktów prawnych Unii Europejskiej, na drodze ich implementowania w poszczególnych krajach, co w efekcie procentuje opracowywaniem optymalnych, najlepszych technologii przerobu odpadów BAT (*Best Available Technology*).

W tabeli 1 przedstawiono szacunkowe wartości zasobów wybranych metali, wielkość konsumpcji i okresy, w których nastąpiłoby całkowite wyczerpanie się tych zasobów, przy obecnym tempie ich zużycia [2, 3].

Tab. 1. Szacunkowy okres do wyczerpania się zasobów wybranych metali w przypadku braku recyklingu [2, 3]

Metal	Zasoby x 10 ⁶ Mg	Konsumpcja x 10 ⁶ Mg/rok	Liczba lat do wyczerpania zasobów
Żelazo	93600,00	500,00	190
Chrom	3543,00	9,16	370
Mangan	1835,00	21,07	90
Nikiel	82,63	0,78	105
Wanad	15,80	0,02	570
Molibden	9,48	0,09	95
Kobalt	3,66	0,02	130
Wolfram	2,56	0,04	55
Aluminium	6000,00	16,01	375
Magnez	1 410,00	0,31	4503
Miedź	550,08	9,83	56
Cynk	241,02	6,33	38
Ółów	156,70	5,48	29
Platyna	36,77	0,19	186
Cyna	9,71	0,69	14

Globalne zapotrzebowanie na surowce w 2006 r. i 2030 r. w stosunku do obecnej całkowitej światowej produkcji poszczególnych surowców [2] przedstawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Globalne zapotrzebowanie na surowce w 2006 r. i 2030 r. w stosunku do obecnej całkowitej światowej produkcji poszczególnych surowców [2]

Surowiec	Produkcja 2006 (t)	Zapotrzebowanie wynikające z pojawienia się nowych technologii 2006 (t)	Zapotrzebowanie wynikające z pojawienia się nowych technologii 2030 (t)	Wskaźnik 2006	Wskaźnik 2030
Gal	152	28	603	0,18	3,97
Ind	581	234	1 911	0,40	3,29
German	100	28	220	0,28	2,20
Neodym (rzadkie ziemie)	16 800	4 000	27 900	0,23	1,66
Platyna (platynowce)	255	bardzo małe	345	0,00	1,35
Tantal	1 384	551	1 410	0,40	1,02
Srebro	19 051	5 342	15 823	0,28	0,83
Kobalt	62 279	12 820	26 860	0,21	0,43
Pallad (platynowce)	267	23	77	0,09	0,29
Tytan	7 211 000	15 397	58 148	0,08	0,29
Miedź	15 093 000	1 410 000	3 696 070	0,09	0,24

Koncentrację produkcji kluczowych surowców oraz poziom recyklingu i możliwości zastąpienia przedstawiono w tabeli 3 [2].

Tab. 3. Koncentracja produkcji kluczowych surowców oraz poziom recyklingu i możliwości zastąpienia [2]

Surowce	Główni producenci (2008r. - 2009r.)		Główne źródła przywozu do UE (2007r. lub 2006r.)		Poziom uzależnienia UE od przywozu	Możliwość zastąpienia	Poziom recyklingu
	[%]		[%]		[%]		
Antymon	Chiny	91	Boliwia	77	100	0,64	11
	Boliwia	2	Chiny	15			
	Rosja	2	Peru	6			
	RPA	2					
Beryl	USA	85	USA, Kanada, Chiny, Brazylia		100		
	Chiny	14					
	Mozambik	1					
Kobalt	DRK	41	DRK	71	100	0,90	16
	Kanada	11	Rosja	19			
	Zambia	9	Tanzania	5			
Fluoryt	Chiny	59	Chiny	27	69	0,00	0
	Meksyk	18	RPA	25			
Gal	n/d		USA, Rosja			0,74	0
German	Chiny	72	Chiny	72	100	0,80	0
	Rosja	4	USA	19			
	USA	3	Hongkong	7			
Grafit	Chiny	72	Chiny	75	95	0,50	0
	Indie	13	Brazylia	8			
	Brazylia	7	Madagaskar	3			
			Kanada	3			
Ind	Chiny	58	Chiny	81	100	0,90	0,3
	Japonia	11	Hongkong	4			
	Korea	9	USA	4			
	Kanada	9	Singapur	4			
Magnez	Chiny	56	Chiny	82	100	0,82	14
	Turcja	12	Izrael	9			
	Rosja	7	Norwegia	3			

			Rosja	3			
Niob	Brazylia	92	Brazylia	84	100	0,70	11
	Kanada	7	Kanada	16			
Antymon	Chiny	91	Boliwia	77	100	0,64	11
	Boliwia	2	Chiny	15			
	Rosja	2	Peru	6			
	RPA	2					
Beryl	USA	85	USA, Kanada, Chiny, Brazylia		100		
	Chiny	14					
	Mozambik	1					
Kobalt	DRK	41	DRK	71	100	0,90	16
	Kanada	11	Rosja	19			
	Zambia	9	Tanzania	5			
Fluoryt	Chiny	59	Chiny	27	69	0,90	0
	Meksyk	18	RPA	25			

W czerwcu 2010 r. na posiedzeniu Raw Materials Supply Group w Brukseli zaprezentowano raport o krytycznych surowcach mineralnych dla UE - krytyczne surowce mineralne ważne gospodarczo dla Unii Europejskiej, które uznano za poddawane zwiększonemu ryzyku zaburzeń podaży, dla których brak jest źródeł pierwotnych i wtórnych w krajach UE oraz brakuje możliwości ich produkcji na różnych etapach.

Lista 14 krytycznych surowców mineralnych (w tym 12 metali) o różnych poziomach produkcji i zapotrzebowania, różnym pochodzeniu i znaczeniu dla gospodarki krajów UE i nie będących w strukturze unijnej [1], jest następująca: antymon, beryl, fluoryt, gal, german, grafit, ind, kobalt, magnez, platynowce, wolfram, niob, tantal, metale ziem rzadkich (trzy ostatnie mają istotne znaczenie dla gospodarki UE).

Lista 14 surowców odnosi się do surowców tzw. krytycznych, których ryzyko niedoboru i wpływ tego niedoboru na gospodarkę UE są większe niż w przypadku innych surowców. Wysokie ryzyko ich niedoboru wynika głównie z faktu, że znaczna część światowej produkcji przypada na niewielką liczbę państw, takich jak: Chiny (antymon, fluoryt, gal, german, grafit, ind, magnez, pierwiastki ziem rzadkich, wolfram), Rosja (platynowce, wolfram), Demokratyczna Republika Konga (kobalt, tantal) oraz Brazylia (niob i tantal).

Materiały deficytowe dla których istnieją źródła pierwotne i wtórne w obrębie UE, ale zapotrzebowanie na nie pokrywane jest w dużej części importem spoza UE, to 17 pierwiastków chemicznych (metale ziem rzadkich): 15 lantanowców: lantan, cer, prazeodym, neodym, promet, samar, europ, gadolin, terb, dysproz, holm, erb, tul, iterb, lutet oraz skand i itr, które współwystępują w minerałach zawierających lantanowce i mają podobne właściwości chemiczne. Stanowią siódmą część wszystkich pierwiastków występujących w naturze. Spotykane są zazwyczaj w formie: węglanów, tlenków, fosforanów i krzemianów. Ponadto deficytowe dla gospodarki Polski oraz UE, podobnie jak jeszcze kilkadziesiąt innych materiałów, są: aluminium, cyna, mangan, molibden, nikiel, rudy żelaza, lit, perlit, talk, pirofyllit, skalenie, wollastonit, wermikulit i inne [1].

Przykłady zastosowań wspomnianych materiałów deficytowych są następujące [4]:

- skand - stopy metali do przemysłu lotniczego i kosmicznego;
- itr - luminofory, ceramika, stopy metali;
- lantan - baterie, klisze rentgenowskie, katalizatory w procesach rafinacji ropy naftowej;
- cer - katalizator, stopy metali;
- prazeodym - składnik domieszkowy stopów z których wykonuje się magnesy (zapobiega korozji);
- neodym - silne magnesy neodymowe, lasery;
- promet - źródło promieniowania beta;
- samar - magnesy do pracy w wysokich temperaturach, pręty sterujące reaktorów;
- europ - wyświetlacze ciekłokrystaliczne, oświetlenie fluorescencyjne;

- gadolin - do produkcji zielonego luminoforu w ekranach CRT i scyntylatorów w obrazowaniu rentgenowskim;
- terb - luminofory do lamp i wyświetlaczy;
- dysproz - silne magnesy, lasery;
- holm - silne magnesy;
- erb - lasery, wzmacniacze optyczne;
- tul - ceramiczne materiały magnetyczne;
- iterb - światłowodów, płyty ogniw słonecznych;
- lutet – rentgenoluminofory.

Pierwiastki ziem rzadkich są coraz częściej wykorzystywane do czystych technologii energetycznych, wykonywania kolorowych zdjęć, laserów, magnesów trwałych, a ponadto znalazły zastosowanie w ważnych aplikacjach wojskowych (obronnych) m.in. takich jak silniki odrzutowe myśliwców, systemy namierzania rakiet, systemy satelitarne i systemy komunikacyjne oraz jako dodatki modyfikujące do stali stopowych [5].

Na około 110 surowców mineralnych funkcjonujących w gospodarce światowej (Bilans Gospodarki 2011), czternaście wyróżniono jako krytyczne dla gospodarki krajów UE, choć termin ten można przyporządkować jedynie do trzech spośród nich – metali ziem rzadkich (i ich związków) oraz niobu i tantalum. Pozostałe jedenaście to surowce tylko w różnym stopniu deficytowe, nawet w długim horyzoncie czasowym, sięgającym poza rok 2030.

Przeprowadzona analiza pozostałych surowców mineralnych wykazała, że krytycznymi dla krajów UE są przede wszystkim takie surowce jak rudy żelaza, mangan, chrom, wanad, molibden, nikiel oraz fosforyty i apatyty, wermikulit, wollastonit, pirofyllit i surowce litu [1].

Obecnie Chiny dominują jako producent ponad 95% światowej produkcji pierwiastków ziem rzadkich jak również posiadają 36% potwierdzonych rezerw. Pierwiastki ziem rzadkich stały się przez to strategicznie ważnym obszarem (materiały krytyczne i deficytowe) z uwagi na ciągłość niezakłóconych, niezależnych dostaw.

Dlaczego praktycznie całą elektronikę produkuje się w Chinach?

Oprócz ceny chodzi o dostęp do tzw. metali ziem rzadkich. Bez nich nie byłoby „smartfonów” i tabletów, ani telewizorów LCD, czy akumulatorów litowo-jonowych. Chiny produkują aż 95% wszystkich metali ziem rzadkich na Ziemi i nie pozwalają na eksport tych surowców w czystej postaci, a jedynie w formie gotowych produktów wytwarzanych w Chinach. To właśnie zapewnia uprzywilejowaną pozycję Państwa Środka. Rocznie światowy popyt na pierwiastki ziem rzadkich ma wynieść ok. 200 tysięcy ton w 2014 r., a chińska produkcja jest oczekiwana na ok. 160 tys. ton [7].

Wygląda więc na to, że Chiny trzymają wszystkich producentów w szachu i mają realny monopol na produkcję urządzeń high-tech. Oznacza to, że bez względu na ryzyko skopiowania technologii, produkcja głównie elektroniki musi odbywać się właśnie w Chinach.

Szacuje się, że w 2008 roku główni użytkownicy metali ziem rzadkich wykorzystywali je do produkcji: katalizatorów (68%), ceramiki (7%), stopów metali (7%), materiałów do polerowania (5%), szkła (5%), magnesów trwałych (4%) i luminoforów (3%). Do 2014 r. przewiduje się, że główni użytkownicy metali ziem rzadkich wykorzystają je do produkcji: stopów metali (25%), magnesów trwałych (23%), katalizatorów (16%), materiałów do polerowania (11%), luminoforów (7%) oraz szkła (7%). Te aplikacje metali ziem rzadkich powinny zapewnić możliwości strategicznego recyklingu i odzysku materiałowego po zakończeniu ich eksploatacji. Dla przykładu recykling lamp fluorescencyjnych może okazać się być użytecznym źródłem Y, Eu i Tb, natomiast recykling magnesów trwałych wykorzystywanych w energetyce wiatrowej i wodnej oraz w pojazdach EV i HEV może stać się ważnym źródłem wtórnego pozyskania Nd, Pr, Dy i Tb [5].

Dla przykładu:

- Recykling miliona laptopów oszczędza energię równoważną energii elektrycznej wykorzystywanej przez ponad 3500 domów w USA w roku.
- Na każdy milion telefonów komórkowych odzyskujemy: ok. 16 tys. kg miedzi, 772 kg srebra, 75 kg złota i 33 kg palladu.

2 RECYKLING PODZESPOŁÓW ELEKTRONICZNYCH

Złom elektryczny i elektroniczny klasyfikowany jest najczęściej jako odpad niebezpieczny w grupie odpadów przemysłowych. Wiąże się to przede wszystkim z zawartością w nim substancji szczególnie szkodliwych dla zdrowia ludzi i środowiska, którymi są najczęściej ołów i halogenki. Obecność tego pierwszego wynika z technologii lutowania opartej na paście ołowiowej, natomiast halogenki stanowią składnik tworzyw sztucznych, powodując ich niepalność. Odpady elektryczne i elektroniczne to najczęściej zbiór przeróżnych urządzeń tworzących mieszaninę metali, stopów, tworzyw sztucznych, ceramiki, szkła, gumy, papieru i drewna. Taka grupa wymaga zastosowania złożonej technologii recyklingu, która umożliwi odzysk pożądanych surowców w postaci m.in. cennych metali szlachetnych, np. złota, srebra, palladu, rodu czy platyny.

Etapem wstępnym większości procesów przeróbki złomu elektrycznego i elektronicznego jest ręczny demontaż elementów stalowych, aluminiowych oraz części zawierających dużą koncentrację metali szlachetnych. Oddziela się również obudowy z tworzyw sztucznych i płytki drukowane. Wyodrębniony złom zespolony, czyli mieszanina elementów stalowych, aluminiowych oraz składników zawierających dużą koncentrację metali szlachetnych poddawany jest odrębnym procesom recyklingu.

Recykling wyeksploatowanej elektroniki z punktu widzenia ekologii stał się bezwzględną koniecznością. Prawidłowo prowadzony recykling może w krótkim czasie przynieść poważne efekty w postaci odzysku cennych 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) [6].

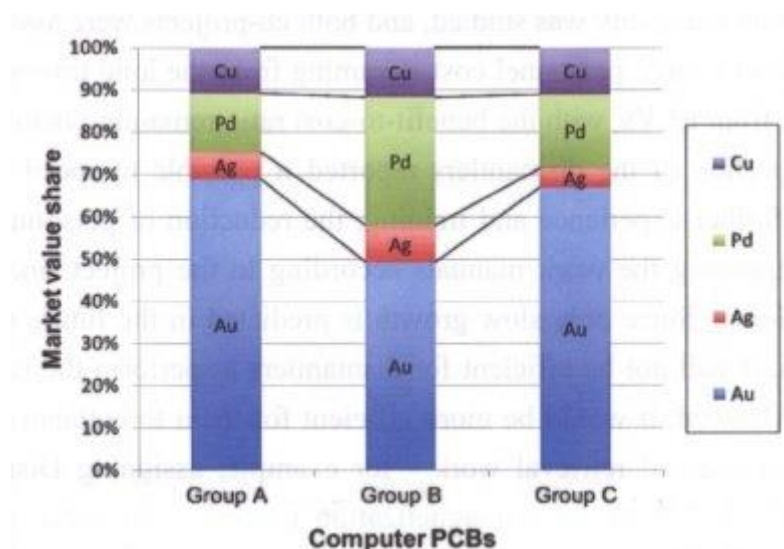
W pierwszym etapie części i podzespoły elektroniczne po wstępnym demontażu mogą trafić do strzępiarek, a następnie do separatorów (system sit, separatorów magnetycznych i komorowo-powietrznych) gdzie następuje usunięcie frakcji niemetaliczne oraz podział pozostałych materiałów na część lekką i ciężką. Frakcja lekka traktowana jest jako odpad ze względu na małą zawartość metalu, natomiast ciężka zostaje poddana dalszej obróbce w separatorze powietrzno-obrotowym, w wyniku czego uzyskuje się trzy kolejne frakcje. Pierwszą grupę stanowią grube kawałki aluminium oraz miedzi i jej stopów (95% zawartości metali), drugą drobne kawałki miedzi, aluminium i cynku (90%), natomiast trzecią głównie niemetalale (ponad 50%) oraz elementy metaliczne jak np. druciki aluminiowe i miedziane. Następnym etapem procesu przeróbki złomu jest separacja w złożu fluidalnym ciężkich cieczy. Innym sposobem separacji poszczególnych materiałów jest beztlenowa metoda rozkładu termicznego w której uzyskuje się z materiałów organicznych olej, gaz oraz frakcję stałą karbonizat i złom metaliczny. W reaktorze pozostaje konglomerat metali przekazywany dalej do metalurgii ekstrakcyjnej w celu odzyskania poszczególnych metali i ich stopów.

Projekt badawczy w zakresie recyklingu pojazdów wycofanych z eksploatacji (PWzE) w zakresie „odzyskiwania metali szlachetnych” i „odzyskiwania magnezów neodymowych” zrealizowany w Japonii wskazał kierunki dalszego postępowania w celu uzyskania opłacalnego odzysku materiałowego metali szlachetnych oraz metali ziem rzadkich (neodym) – stał się komercyjnie opłacalnym [7].

Pierwszy powiązany projekt dotyczył odzyskiwania, zbierania i recyklingu komputerowych płytek drukowanych i innych części zawierających metale szlachetne, pozyskanych z pojazdów wycofanych z eksploatacji, w tym z trzech rodzajów części zawierających metale szlachetne tj.: komputerowych płytek drukowanych poduszek powietrznych oraz dwóch rodzajów komputerowych płytek drukowanych silnika (przedstawione na rysunku 1).

Klasyfikacja samochodowych płytek drukowanych zawierających metale szlachetne:

- Grupa A: komputerowe płytki drukowane silnika (mała zawartość palladu, wysoka złota)
- Grupa B: komputerowe płytki drukowane silnika (wysoka zawartość palladu)
- Grupa C: komputerowe płytki drukowane poduszki powietrznej



Rys. 1. Udział w wartości rynkowej w zależności od zawartości metali w płytkach drukowanych [7]

Z ok. 7000 PWzE można pozyskać ok. 1 Mg płytek drukowanych (1 płytka ok. 150 g/szt.). Z jednej płytki drukowanej można uzyskać 27 g metali (głównie Au i Pd), co oznacza uniknięcie wprowadzenia 36 kg do środowiska przy zastosowaniu analizy TMR (z ang. *Total Material Requirement – Całkowite Zapotrzebowanie na Materiał*) charakteryzującej się kwantyfikacją „ukrytych przepływów”. Używając TMR jako wskaźnika obciążeń dla środowiska możliwym jest obliczenie wpływu człowieka na środowisko naturalne w kilogramach i tonach poprzez przybliżenie pierwszego stopnia [7].

Z wyliczeń wynika, że z pozyskanych w projekcie płytek drukowanych uzyskano redukcję emisji CO₂ o 0,06 [kg-CO₂eq] na kilogram masy płytek. Największy wkład w ochronę środowiska został odnotowany dla Cu z powodu dużej jej zawartości. Wśród trzech grup płytek drukowanych, największy wkład w ochronę środowiska odnotowano dla Grupy B z powodu dużej jednostkowej wartości środowiskowej palladu.

W niniejszym projekcie pozyskano łącznie 96 kg Nd, Pr i Dy (0,4 kg na jeden EV, HEV pojazd wycofany z eksploatacji), co stanowiło równowartość zmniejszenia zmian w środowisku o 504 tony. Co więcej, recykling metali ziem rzadkich zmniejszy nieprzyjawną dla środowiska obróbkę sodu wymaganą w miejscach wydobywania i wytapiania ciężkich metali ziem rzadkich. Chociaż magnesy neodymowe wymagają specjalnego traktowania przy obchodzeniu się z nimi i przechowywaniu z powodu ich silnego pola magnetycznego, projekt powiązany wykazał, że magnesy neodymowe można z łatwością rozmagnesować poprzez ich ogrzanie za pomocą zwykłego palnika. Konieczna jest zmiana postępowania podczas pozyskiwania magnesów neodymowych pochodzących z PWzE w ilościach atrakcyjnych dla producentów materiałów stosowanych na magnesy trwałe oraz ponowne zweryfikowanie komercyjnej opłacalności przedsięwzięcia.

Tab. 4. Ocena elementów magnesu neodymowego

		Duży 45x35x5 mm	Mały 36x30x5 mm	Średni
Pojazdy wycofane z eksploatacji objęte projektem [sztuk]		222		
Zebrana ilość [kg]		300,3		
Neodym (Nd)	Zawartość (%)	17,44	18,4	17,79
Prazeodym (Pr)	Zawartość (%)	5,10	5,38	5,24
Dysproz (Dy)	Zawartość (%)	9,24	8,29	8,77

Na jeden pojazd hybrydowy przypada 1,4 kg magnesów neodymowych. Możliwe jest zebranie 1 Mg magnesów z ok. 700 szt. PWzE (HEV/EV). Stwierdzono, że obecnie takie przedsięwzięcie jest nieopłacalne z powodu wysokich kosztów pracowniczych (mała wydajność - duża ilość czasu poświęcona na demontaż w stosunku do zysku).

WNIOSKI

W Unii Europejskiej konieczność rozwiązania problemu recyklingu poamortyzacyjnego sprzętu AGD oraz 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 z eksploatacji szczególnie z elektroniki i instalacji elektrycznych pojazdów EV, HEV 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;
- zastosowania 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;
- wykorzystania najbardziej przyszłościowych, przyjaznych dla środowiska technologii przerobu elektronicznych odpadów poeksploatacyjnych do których należy metoda rozkładu termicznego materiałów organicznych dla potrzeb pozyskania produktów wysoce energetycznych (olej, gaz, karbonizat) oraz odseparowania z nich metali i ich stopów;
- rozwoju metalurgii ekstrakcyjnej, pirometalurgii i hydrometalurgii w celu separacji metali z ich konglomeratów pozyskanych z rozkładu termicznego;
- maksymalizacji odzysku materiałowego w celu minimalizacji negatywnych skutków postępu i rozwoju przemysłu, a w szczególności rozwoju motoryzacji.

Streszczenie

Zwiększone zainteresowanie pojazdami hybrydowymi, a następnie elektrycznymi oraz nowoczesnym sprzętem AGD spowodowało wzrost zapotrzebowania na materiały deficytowe, takie jak lit, kobalt, nikiel czy kadm oraz metale ziem rzadkich. Materiały wykorzystywane przy produkcji elektroniki oraz akumulatorów szczególnie do pojazdów hybrydowych i elektrycznych są kosztowne, a z uwagi na ograniczoną dostępność mogą nastąpić ich niedobory, jeżeli nie będą poddawane recyklingowi/odzyskowi materiałowemu. Dlatego też recykling tych materiałów jest niezbędny dla zapewnienia zrównowżenia i odnawialności przemysłu motoryzacyjnego, wytwórców sprzętu gospodarstwa domowego oraz przemysłu obronnego, energetycznego i telekomunikacji.

Duży postęp w konstrukcji nowoczesnych pojazdów oraz w zapewnieniu bezpieczeństwa jazdy możliwy był dzięki błyskawicznemu rozwojowi mikroelektroniki, innowacyjnych technologii i nowych materiałów, jak również dzięki rozwojowi motoryzacji. Wszystkie wspomagające układy elektroniczne, które zaczęto obecnie stosować, zwiększają bezpieczeństwo użytkownika dróg. Postęp techniczny w dziedzinie ograniczenia zużycia paliwa i emisji związków szkodliwych oraz wzrostu bezpieczeństwa i komfortu jazdy ściśle wiąże się ze stosowaniem elektronicznych systemów sterujących. Bez elektroniki nie byłoby nowoczesnych układów wtrysku paliwa, systemów antypoślizgowych ani systemów stabilizacji toru jazdy i wielu innych.

Metals recovery from car electronics and household appliances

Abstract

Increased interest in hybrid and electric vehicles and modern household appliances has increased the demand for scarce materials, such as lithium, cobalt, nickel and cadmium and rare earth metals. The materials used in the manufacture of electronics and batteries especially for hybrid and electric vehicles are expensive, and due to the limited availability, their deficiencies can occur if they will be not subjected to recycling/material recovery. Therefore, recycling of these materials is necessary to ensure the sustainability and renewability of the automotive industry, manufacturers of household appliances and the defense, energy and telecommunications industry.

Great progress in the construction of modern vehicles and in ensuring driving safety was possible due to a

rapid development of microelectronics, innovative technologies and new materials as well as the development of the automotive industry. All the supporting electronic systems, which now began to be used, increase the safety of road users. Technical progress in reducing fuel consumption, emissions of harmful compounds, increase driving safety and comfort is closely related to the use of electronic control systems. Without electronics would not have been modern fuel injection systems, anti-skid systems or stability control systems and many others.

BIBLIOGRAFIA

1. 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.
2. Wojciechowski A., Recykling samochodów. Materiały i technologie odzysku. Wyd. 2012r. ITS; ISBN 987-83-60965-14-6 i IOd ISBN987-83-88770-90-6.
3. Janke D., Savov L., Recycling of Strap and Residuals in the Steel Vehicles. JOM. 2001 november, s. 21-23.
4. www.wikipedia.pl
5. www.tms.org/jom.html JOM, June 2001, str. 8-9. Anand T., Mishra B., Apelian D., Blanpain B. the case Recycling of Rare Earth Metals-A CR3 Communication.
6. Wojciechowski A. Doliński A., „Dywersyfikacja źródeł energii z odzysku materiałowego/recyklingu odpadów organicznych. Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Energia i Środowisko. Produkcja – Logistyka – Zarządzanie” w dniach 9–10 października 2014 r. W druku w czasopiśmie Logistyka.
7. Materiały Forum Recyklingu Samochodów FORS 2014. Projekt FY2013 na Modernizację Współpracy w zakresie Recyklingu Samochodów (Projekt dotyczący Stabilnych Dostaw i Recyklingu Metali Szlachetnych stosowanych w Pojazdach Wycofanych z Eksploatacji). Japonia 2013 r.