

Maria WENGIEREK  
Wyższa Szkoła Bankowa w Poznaniu  
mary.w@interia.eu

## **SPOSOBY POSTĘPOWANIA Z ODPADAMI NIEBEZPIECZNYMI W WOJEWÓDZTWIE ŚLĄSKIM. CZĘŚĆ I – UWARUNKOWANIA TECHNICZNE W PROCESACH ZARZĄDZANIA ODZYSKIEM I RECYKLINGIEM ODPADÓW**

**Streszczenie.** Artykuł dotyczy postępowania z odpadami niebezpiecznymi, w szczególności uwarunkowań technicznych na przykładzie zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego. Sprzęt ten obejmuje szeroką gamę produktów, m.in. sprzęt: gospodarstwa domowego, teleinformatyczny i telekomunikacyjny, audio-wizualny, oświetleniowy. Szybki rozwój technologiczny i produkcja coraz bardziej zaawansowanych urządzeń elektryczno-elektronicznych powodują skrócenie okresu ich użytkowania, a w konsekwencji powstanie znacznych ilości odpadów poużytkowych.

**Słowa kluczowe:** odpady niebezpieczne, odpady elektryczne i elektroniczne, technologie – metody odzysku i recyklingu odpadów

## **HANDLING OF HAZARDOUS WASTE WAYS IN SILESIA REGION. PART I – TECHNICAL CONDITIONS IN RECOVERY MANAGEMENT AND WASTE RECYCLING PROCESSES**

**Abstract.** The article deals with hazardous waste, in particular technical conditions of waste of electrical and electronic equipment. This equipment includes a wide range of products, including equipment, i.e.: household, teleinformatic and telecommunications, audio-visual, lighting. Rapid technological development and the production of more and more advanced electrical and electronic devices causes shorten the period of their use and, as a consequence, significant amounts of post-use waste are generated.

**Keywords:** hazardous waste, electrical and electronic waste, technologies – methods of waste recovery and recycling

## 1. Wprowadzenie

Niniejszy artykuł jest kontynuacją rozważań poświęconych odpadom niebezpiecznym. W poprzednich częściach<sup>1</sup> omówiono uwarunkowania prawne i organizacyjne postępowania z odpadami niebezpiecznymi. Zwrócono uwagę na:

- Założenia Regionalnego Systemu Gospodarki Odpadami.
- Właściwości odpadów niebezpiecznych.
- Rodzaje odpadów niebezpiecznych
- Warunki transportu.
- Warunki magazynowania/składowania odpadów.
- Odzysk i unieszkodliwianie odpadów.
- Obiekty gospodarki odpadami funkcjonujące do 2010 roku w woj. śląskim.

Przedstawiono systemy zbierania odpadów, przedsiębiorstwa i organizacje odzysku oraz ilości odpadów wytworzonych, zebranych, odzyskanych i unieszkodliwionych w 2010 roku. Podano przykłady firm zajmujących się odzyskiem i recyklingiem w odniesieniu do wybranych rodzajów odpadów.

W niniejszym artykule omówiono szczegółowo jeden rodzaj uprzednio scharakteryzowanych odpadów, a mianowicie odpady zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego (ZSEE).

Celem artykułu jest analiza uwarunkowań technicznych, w tym technologii oraz metod przekształcania odpadów elektrycznych i elektronicznych.

Po omówieniu charakterystyki odpadów oraz organizacji i obowiązków jednostek biorących udział w ich zagospodarowaniu przedstawiono technologie wykorzystywane do odzysku surowców, w tym metalicznych z ZSEE.

W opracowaniu zwrócono uwagę na zasadę odpowiedzialności producentów za recykling – „projektowanie dla środowiska” oraz podano przykłady firm stosujących tę zasadę.

Technologie i metody demontażu oraz przetapiania metali zawartych w złomie różnych podzespołów elektrycznych i elektronicznych dotyczą zużytych urządzeń AGD, RTV, telefonów komórkowych, laptopów, tabletów, komputerów stacjonarnych, aparatów fotograficznych itp. Technologie i metody demontażu oraz utylizacji odniesiono szczegółowo do jednej grupy ZSEE, tj. grupy III – sprzęt teleinformatyczny i telekomunikacyjny oraz jednego rodzaju odpadu – telefony komórkowe.

---

<sup>1</sup> Wengierek M.: Sposoby postępowania z odpadami niebezpiecznymi w województwie śląskim. Część I – uwarunkowania prawne i organizacyjne. Zeszyty Naukowe, s. Organizacja i Zarządzanie, z. 103. Politechnika Śląska, Gliwice 2017; Wengierek M.: Sposoby postępowania z odpadami niebezpiecznymi w województwie śląskim. Część II – uwarunkowania prawne i organizacyjne wybranych rodzajów odpadów. Zeszyty Naukowe, s. Organizacja i Zarządzanie, z. 101. Politechnika Śląska, Gliwice 2017.

## 2. Charakter odpadu

Każde urządzenie elektryczne i elektroniczne składa się z połączeniu kilku podstawowych elementów, takich jak: płytki montażowe, kable, przewody, tworzywa sztuczne zawierające substancje przeciwpalne, przełączniki rtęciowe, akumulatory i baterie, urządzenia generujące światło, kondensatory<sup>2</sup>. Znajdujące się w tych komponentach niebezpieczne substancje obejmują<sup>3</sup>:

- metale ciężkie, m.in.:
  - rtęć – niektóre świetlówki,
  - kadm – baterie urządzeń elektrycznych,
  - nikiel – przede wszystkim baterie, luminofor lamp kineskopowych, powłoki galwaniczne,
  - ołów – stopy lutownicze, lampy kineskopowe, świetlówki i akumulatory,
  - chrom – powłoczenia elementów metalowych (ochrona przed korozją, względy estetyczne);
- związki chlorowcowe, m.in.: CFC, PCB, PCV. Przykładowo: PCB, czyli polichlorobifenyl, występuje w urządzeniach elektrycznych, np. w pralkach pełni funkcje chłodzące, smarujące i izolujące;
- bromowane substancje przeciwpalne. Na przykład związki bromu stosowane są w komputerach.

Substancje szkodliwe, stanowiąc poważne zagrożenie dla środowiska i zdrowia ludzkiego, powodują, że odpady ZSEE powinny podlegać selektywnej zbiórce, a następnie być utylizowane w procesach odzysku i recyklingu. Metale szlachetne, np. srebro, złoto, platyna, pallad powinny być odzyskane i wykorzystane do produkcji tych samych lub innych wyrobów. Z ZSEE odzyskiwane są także metale żelazne i nieżelazne (kolorowe) m.in. miedź, cynk, cyna, aluminium. W procesach odzysku z ZSEE otrzymać można również metale ziem rzadkich (REM). Metale te mają coraz większe zastosowanie w tworzeniu nowoczesnych produktów wysokich technologii. Występują one w skorupie ziemskiej w dużych ilościach, ale w niskiej koncentracji w rudzie. W związku z tym ich odzysk wiąże się z dużymi kosztami, co czyni go nieopłacalnym. Dlatego potencjalnym źródłem są odpady m.in. ZSEE, z których dzięki nowoczesnym technologiom recyklingu można je odzyskiwać przy mniejszych kosztach. Odzyskane metale ziem rzadkich mają wielorakie zastosowanie, przykładowo:

---

<sup>2</sup> Januskiewicz T.: Zużyty sprzęt elektryczny i elektroniczny jako globalny problem ekologiczny i ekonomiczny. „Gospodarka Materiałowa i Logistyka”, nr 4, 2007; Gonera M.: Problematyka ekologii w elektronice. I Krajowa konferencja naukowo-techniczna „Ekologia w elektronice”. Przemysłowy Instytut Elektroniki, Warszawa 2010.

<sup>3</sup> Wengierek M.: Sposoby postępowania z odpadami niebezpiecznymi w województwie śląskim. Część II – uwarunkowania prawne i organizacyjne wybranych rodzajów odpadów. Zeszyty Naukowe, s. Organizacja i Zarządzanie, z. 101. Politechnika Śląska, Gliwice 2017.

- lantan – akumulatory w samochodach hybrydowych,
- cer – katalizatory samochodowe,
- neodym – silniki aut hybrydowych i elektrycznych, generatory prądu w elektrowniach wiatrowych, głośniki, mikrofony, urządzenia do krioterapii,
- europ – produkcja telewizorów LCD,
- terb – żarówki energooszczędne,
- dysproz – komputerowe dyski twarde,
- holm – lasery,
- tul – lasery, urządzenia rentgenowskie,
- erb – kuchenki mikrofalowe, sprzęt do chirurgii laserowej,
- itr – świece zapłonowe, czujniki tlenu w katalizatorach samochodowych,
- skand – lampy błyskowe, kadłuby samolotów – stopy aluminium.

Przykładowo, w materiałach, które wchodzi w skład płytek obwodu drukowanego średnia zawartość metali, włókien szklanych i żywic wynosi odpowiednio: 40% wag., 30 % wag., 30% wag.<sup>4</sup>.

Grupy sprzętu podlegającego zapisom ustawy wg. Załącznika 1 do Ustawy o zużytym sprzęcie elektrycznym i elektronicznym<sup>5</sup> to:

- grupa I – wielkogabarytowe urządzenia gospodarstwa domowego,
- grupa II – małogabarytowe urządzenia gospodarstwa domowego,
- grupa III – sprzęt teleinformacyjny i telekomunikacyjny,
- grupa IV – sprzęt audio-wizualny,
- grupa V – sprzęt oświetleniowy,
- grupa VI – narzędzia elektryczne i elektroniczne,
- grupa VII – zabawki, sprzęt rekreacyjny i sportowy,
- grupa VIII – przyrządy medyczne,
- grupa IX – przyrządy do nadzoru i kontroli,
- grupa X – automaty do wydawania.

---

<sup>4</sup> Woynarowska A., Żukowski W.: Współczesne metody recyklingu odpadów elektronicznych. Politechnika Krakowska, Kraków 2012.

<sup>5</sup> Ustawa z dnia 29 lipca 2005 r. o zużytym sprzęcie elektrycznym i elektronicznym (DzU 2008, nr 223, poz. 1464; DzU 2005, nr 180, poz. 1495).

### **3. Organizacja i obowiązki jednostek biorących udział w zagospodarowaniu odpadów ZSEE**

#### **3.1. Odbiór odpadów sprzętu elektrycznego i elektronicznego w Gminnych Punktach Zbiórki Odpadów Elektrycznych i Elektronicznych, Serwisowych Punktach Zbiórki Sprzętu Elektrycznego i Elektronicznego i innych**

Do obowiązków przedsiębiorstwa przy przyjmowaniu odpadów należy:

- potwierdzenie przyjęcia w wystawionej przez wytwórcę odpadów sprzęty elektrycznego i elektronicznego „Karcie przekazania odpadów” – dotyczy tylko odbioru odpadów z innych źródeł niż gospodarstwa domowe,
- prowadzenie ewidencji przyjmowanych odpadów,
- nadanie prawidłowego oznakowania,
- wypełnienie „Karty ewidencji odpadów”.

#### **3.2. Transport odpadów**

Do obowiązków przewoźnika odpadów sprzętu elektrycznego i elektronicznego należy<sup>6</sup>:

- potwierdzenie odbioru odpadów na „Karcie przekazania” oraz odbiór jej kopii,
- posiadanie dokumentu przewozu materiałów niebezpiecznych,
- posiadanie instrukcji bezpieczeństwa,
- sprawdzenie stanu opakowań i oznakowania,
- sporządzenie „Karty przekazania” odpadu.

#### **3.3. Firmy zajmujące się demontażem, regeneracją, odzyskiem lub unieszkodliwianiem odpadów**

Zakład, do którego trafia zużyty sprzęt elektryczny i elektroniczny, ma obowiązek demontażu tego sprzętu oraz niezwłocznego usunięcia z niego składników niebezpiecznych, materiałów i części składowych, tj. metali ciężkich (rtęć, kadm, ołów, chrom), związków chlorowcowych (CFC, PCB, PCV) oraz poddania ich dalszemu recyklingowi lub innemu procesowi odzysku, z zapewnieniem bezpieczeństwa dla środowiska i zdrowia ludzi.

Ustawa określa także wymagania, jakie musi spełniać taki zakład i w jakie urządzenia powinien być wyposażony, czyli: nieprzepuszczalne podłoże, zadaszenie, separator cieczy z odstojnikiem i odolejaczem i inne<sup>7</sup>.

Wszyscy pracownicy zajmujący się procesem utylizacji odpadów muszą posiadać odpowiednie kwalifikacje, w szczególności doświadczenie w pracy na stanowisku technika/

---

<sup>6</sup> Bajc I.: Krajowy system zbiórki i utylizacji odpadów sprzętu elektrycznego i elektronicznego. „Recykling”, nr 11(59), 2006; Ustawa z dnia 29 lipca 2005 r. op.cit.

<sup>7</sup> Ustawa z dnia 29 lipca 2005 r. op.cit.; Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach (DzU 2013, poz. 21); Rozporządzenia wykonawcze do ww. ustaw – Ministra Środowiska, Ministra Gospodarki.

serwisanta lub inżyniera serwisu i podobnym oraz znajomość maszyn do przetwarzania i recyklingu odpadów.

Osoby zatrudnione bezpośrednio przy procesach utylizacji odpadów zobligowane są do noszenia odzieży ochronnej. Są to: okulary ochronne, słuchawki ochronne, kombinezon, czapka, rękawice, specjalne obuwie ochronne<sup>8</sup>.

Wszystkie zakłady przetwarzania ZSEE mają obowiązek posiadania stosownych decyzji i pozwoleń na prowadzenie takiej działalności, jak również powinny być zarejestrowane w Głównym Inspektoracie Ochrony Środowiska, posiadać numer rejestrowy oraz sporządzać wymagane ustawą sprawozdania ze swojej działalności. Zakład przetwarzania ma także obowiązek prowadzenia dokładnej i systematycznej gospodarki odpadami przyjmowanymi i oddawanymi do następnego posiadacza. Podstawowym zadaniem zakładów przetwarzania jest osiągnięcie prawidłowych poziomów odzysku i recyklingu wszystkich 10 grup odpadów ZSEE zgodnie z załącznikiem nr 1 do ustawy. Zakłady przetwarzania stosują coraz to nowsze technologie przetwarzania, odzysku i recyklingu. Technologie te wprowadzone są w celu wyodrębnienia z odpadów poszczególnych frakcji możliwych do dalszego wykorzystania<sup>9</sup>.

#### **4. Poziomy recyklingu ZSEE realizowane przez firmy recyklingowe**

W praktyce występują 3 poziomy recyklingu zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego<sup>10</sup>:

- recykling I stopnia – regeneracja, naprawianie i zawrócenie do użytku zgodnie z pierwotnym przeznaczeniem,
- recykling II stopnia – ponowne wykorzystanie elementów bądź części urządzeń; w tym celu dokonuje się weryfikacji czy jest taka możliwość, a następnie kieruje do regeneracji lub naprawy,
- recykling III stopnia – właściwy odzysk, czyli podjęcie działań prowadzących do odzysku substancji, materiałów lub energii (prawie cały strumień odpadów jest przekształcany właśnie w taki sposób).

---

<sup>8</sup> Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. op.cit.

<sup>9</sup> Ustawa z dnia 29 lipca 2005 r. op.cit.; Kruczek M.: Model łańcucha logistyki odwrotnej zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego. Zeszyty Naukowe, seria Organizacja i Zarządzanie, z. 60. Politechnika Śląska, Gliwice 2012.

<sup>10</sup> Tyszkiewicz J.: Recykling złomowanych urządzeń elektrycznych i elektronicznych powszechnego użytku. Materiały IGO, Warszawa 2000.

#### 4.1. Technologie i metody odzysku i recyklingu

W ostatnich latach do odzyskiwania surowców, w tym metalicznych z ZSEE stosuje się następujące technologie<sup>11</sup>:

- selektywny demontaż urządzeń,
- rozdział poszczególnych elementów na frakcje,
- rozdrobnienie frakcji metalicznej,
- separacja magnetyczna, elektrostatyczna i prądowo-wirowa,
- przetworzenie frakcji metalicznej metodą pirometalurgiczną i hydrometalurgiczną,
- separacja i oczyszczanie,
- poddanie materiału procesom elektrometalurgicznym.

W procesie recyklingu zużytych sprzętów elektrycznych i elektronicznych wstępnym etapem jest selektywny demontaż poszczególnych urządzeń i podzielenie poszczególnych elementów na frakcje, takie jak: metale, tworzywa sztuczne, ceramika, papier, drewno oraz elementy o charakterze toksycznym, takie jak: kondensatory, kompresory, baterie, monitory, obwody drukowane.

Pozyskuje się również gumę, oleje, czynniki chłodzące. Składniki te mogą być ponownie wykorzystane lub kierowane do procesu recyklingu lub unieszkodliwiania.

W zależności od możliwości wyposażenia obiektów odzysku i recyklingu w instalacje demontaż może być: ręczny, mechaniczny, automatyczny lub aktywny. Stosowany jest również demontaż przy użyciu podgrzewania indukcyjnego lub demontaż z kombinacją podgrzewania indukcyjnego i uderzenia mechanicznego.

Przed rozdrobnieniem frakcji metalicznej następuje również demontaż obudowy urządzeń (przecinanie, odcinanie) z wykorzystaniem cięcia laserowego lub piły diamentowej. Kolejnym etapem jest odpylanie, tj. usuwanie substancji niebezpiecznych.

Frakcja metaliczna poddawana jest rozdrobnieniu przy użyciu strzępiarki lub młyna młotkowego. Odpowiednie rozdrobnienie konieczne jest do dalszej obróbki fizycznej i procesów hydrometalurgicznych.

Podczas przetwarzania metodami fizycznymi odpady poddaje się separacji magnetycznej, elektrostatycznej i prądowo-wirowej, w wyniku których otrzymuje się żelazo, frakcje niezależną i frakcję niemetaliczną.

Separacja prądami wirowymi pozwala uzyskać np. pianki poliuretanowe oraz tworzywa sztuczne.

Po separacji magnetycznej (sita) uzyskujemy żelazo.

---

<sup>11</sup> Pyssa J.: Odzysk i unieszkodliwianie odpadów niebezpiecznych. Wydział Energetyki i Paliw, AGH, Kraków, <http://www.e-gospodarkaodpadami.pl/rynek/odzysk-i-unieszkodliwianie/>, 13.10.2016; Wengierek M.: System logistyczny odpadów. Sfera regulacji. Współpraca uczestników łańcucha dostaw. Zeszyty Naukowe, seria Organizacja i Zarządzanie, z. 56. Politechnika Śląska, Gliwice 2011; Bendkowski J., Wengierek M.: Logistyka odpadów, tom 1 i 2. Politechnika Śląska, Gliwice 2002/2004; Woynarowska A., Żukowski W.: Współczesne..., op.cit.; Żurek J.: Ocena wybranego wyrobu pod względem jego demontażu i recyklingu. Komisja Budowy Maszyn PAN, vol. 27, nr 2, 2007.

W wyniku separacji na zasadzie różnicy gęstości odzyskujemy metale kolorowe – miedź i aluminium. Czasami jest również stosowana separacja pneumatyczna, w wyniku której odzyskuje się złom żelazny i oczyszczone gazy.

Następnie uzyskana frakcja metaliczna przetwarzana jest metoda pirometalurgiczna i hydrometalurgiczna w celu odzysku metali szlachetnych.

Dotychczas najczęściej stosowane czynniki ługujące w procesie hydrometalurgicznym to: woda królewska, cyjanek, halogenki, tiomocznik oraz tiosoarczan. Zastosowane czynniki powodują znaczne zanieczyszczenia, dlatego też otrzymywane produkty poddawane są procesowi separacji oraz procedurze oczyszczania.

Ostatnim etapem jest elektrometalurgia, która polega na otrzymaniu oraz oczyszczaniu metali przy użyciu prądu elektrycznego. W wyniku tego procesu otrzymuje się takie metale, jak: miedź, glin, srebro, pallad.

#### **4.2. Zasada rozszerzonej odpowiedzialności producentów za recykling**

Obecnie produkty wielu firm są projektowane z myślą o środowisku<sup>12</sup>. Już na samym początku cyklu życia wyrobu zwraca się uwagę na zmniejszenie rozmiaru, ograniczenie ilości nowych surowców oraz wykorzystanie materiałów odnawialnych i pochodzących z recyklingu. Zmniejszenie rozmiaru i wagi produktów bez wpływu na ich działanie oraz wzmocnienie ich obudów pozwala zmniejszyć ilość zużywanych zasobów i oznacza, że można stosować mniej opakowań lub opakowania o mniejszej wadze. Tam, gdzie to możliwe ogranicza się też opakowania.

Chodzi również o wyroby produkowane zgodnie z zasadą DfE (Design for Environment), DfR (Design for Recycling), demontaż aktywny (SMP – Shape Memory Polymers), demontaż przy pomocy robotów.

Przykładem przedsiębiorstwa, które uruchomiło pierwszy na świecie program recyklingu jest firma Canon. W bieżącym roku firma obchodzi 28 rocznicę tego wydarzenia. W 1982 roku firma ta wprowadziła na rynek pierwsze na świecie kopiarki osobiste z systemem uniwersalnych kaset. Osiem lat później, w 1990 roku, uruchomiono program recyklingu kaset z tonerem firmy Canon w USA, Japonii i Niemczech. W 1992 roku firma Canon uruchomiła procedurę zamkniętego cyklu recyklingu tworzyw sztucznych. Na przykład, przetwarzając tworzywo ze zwracanych urządzeń – trafia ono do nowych urządzeń, takich jak produkty z serii Image Runner Advance czy obudowy kalkulatorów. Urządzenie FPNM (dawniej określane jako „regenerowane”) to nowe wydanie oryginalnego modelu, które powstało z nowych i istniejących elementów. Oryginalne urządzenia są zbierane od klientów, wysyłane do fabryki

---

<sup>12</sup> Baic I.: Przetwarzanie zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego – Koncepcja projektowa oraz wymogi formalno-prawne. Centrum Gospodarki odpadami, Oddział zamiejscowy IMBiGS, Warszawa 2008; Ustawa z dnia 29 lipca 2005 r., op.cit.; Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r.; Dyrektywa 2002/95/EC Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 27 stycznia 2003 r. w sprawie ograniczenia stosowania pewnych niebezpiecznych substancji w sprzęcie elektrycznym i elektronicznym (DzU WE L 37 z 13 lutego 2003 r.).



firmy Canon i rozmontowywane na pojedyncze elementy. Zdemontowane elementy są dokładnie czyszczone i przechodzą pełną procedurę testową. Następnie każde odnowione urządzenie przechodzi taką samą procedurę jakości jak nowo wyprodukowane urządzenie i otrzymuje gwarancję posiadania takiej samej jakości i parametrów jak oryginalne urządzenia. Stare dane są usuwane, oprogramowanie jest uaktualniane, licznik jest zerowany a urządzenie otrzymuje nowy numer seryjny.

Ponownie wykorzystując w produkcji odpady pochodzące z ich produktów i procesów firma oszczędza cenne zasoby i redukuje wpływ na środowisko, dzięki czemu liczba odpadów jest minimalna (poniżej 1%). Ponownie wykorzystuje się ponad 93% oryginalnych części (wagowo) – pozostałe niecałe 7% części jest przetwarzane<sup>13</sup>.

### 4.3. Demontaż i utylizacja telefonów komórkowych

Demontaż telefonów komórkowych można przeprowadzać na kilka sposobów.

Demontaż ręczny najczęściej wykorzystują małe serwisy elektroniczne, gdzie dane urządzenie przed wyrzuceniem lub oddaniem do recyklingu pozbawiane jest droższych części. Po demontażu podzespołów głównych i frakcji niebezpiecznej, segregacji odpadów i podzespołów niektóre frakcje mogą być przekazywane na stanowiska demontażu mechanicznego. Najbardziej pospolity jest demontaż zautomatyzowany, w szczególności przy pomocy robotów. Przykładem firmy prowadzącej recykling zużytych laptopów, tabletów, smartfonów oraz innych urządzeń elektronicznych jest firma Apple. Demontaż zużytych urządzeń jest prowadzony przez robota LIAM (w tym pozyskiwanie i segregowanie odzyskanych części aż do najmniejszej śrubki), które następnie zostają przetwarzane i mogą być ponownie wykorzystane w produkcji przyszłych urządzeń oraz innych produktów. Rozebranie smartfona trwa kilka sekund; w ciągu godziny robot potrafi dokonać rozbiórki 350 sztuk<sup>14</sup>.

Do korzyści demontażu automatycznego należą możliwości zastosowania dla produktów różnych producentów i niezależność od nastawienia na jeden produkt linii demontażu; wadą jest konieczność ustalenia położenia linii demontażu dla ściśle określonego produktu.

Proces automatyczny jest szczególnie nastawiony na wyroby produkowane zgodnie z zasadą „dla środowiska” – DfE, tzn. aby można je było łatwo zdemontować na końcu ich „użytecznego życia”. W praktyce oznacza to „mniej śrubek” i „łatwe otwieranie połączeń” między różnymi częściami. Już w procesie projektowania telefonu zwraca się uwagę na zoptymalizowany proces demontażu. Chodzi o to aby projektując dany produkt wcześniej założyć, jaką metodą należy demontować zużyte urządzenie niż dostosowywać linie demontażu pod wymogi danej serii telefonów. W podstawowym wdrażaniu DfE oraz DfR znajomość miejsca recyklingu produktu nie jest konieczna w fazie projektowania; każdy zakład rozbierający telefony nie powinien mieć problemu z utylizacją. W przypadku bardziej

<sup>13</sup> [www.canon.pl/recykling/](http://www.canon.pl/recykling/).

<sup>14</sup> [http://teleguru.pl/wiadomosci/arttykul/apple\\_ma\\_robota\\_ktory\\_dba\\_o\\_srodowisko\\_naturalne\\_3130#.VzqeHfmLTIV](http://teleguru.pl/wiadomosci/arttykul/apple_ma_robota_ktory_dba_o_srodowisko_naturalne_3130#.VzqeHfmLTIV).

zaawansowanego wdrażania DfE i DfR reguły projektowania należy dostosować do procesu recyklingu dla wybranego produktu.

Z kolei demontaż aktywny to nowatorska metoda specjalnie opracowana dla polimerów SMP. Polega ona na tym, że w miejsce tradycyjnych wkrętów, zatrzasków, nitów metalowych wprowadzane są elementy z SMP. Obudowa w systemie aktywnego demontaży zawiera w środku sprężynę, w wyniku zmiany kształtu elementy z SMP na przykład gwinty śruby lub krawędzi zatrzasku z tego materiału, sprężyna rozpycha obudowę telefonu powodując demontaż. Przewiduje się, że już w najbliższej przyszłości tradycyjne metody lutowania/łączenia zostaną wsparte technologią SMP w wyniku czego pola lutownicze pokryte zostaną klejami przewodzącymi skracając użyteczność stopów ołowiowo-cynowych i znacznie ułatwi to demontaż. Do zastosowania tej metody potrzebna jest niewielka temperatura – ok. 100°C; można zastosować piece na podczerwień, piece oporowe lub inne metody. Najszybsze efekty rozłączania daje kąpiel we wrzątku. Cena polimerów SMP jest porównywalna z tradycyjnymi polimerami<sup>15</sup>.

Jeszcze inna metoda demontażu telefonów komórkowych jest podgrzewanie indukcyjne. Demontaż z zastosowaniem tej metody opiera się na dwóch procesach: podgrzewania indukcyjnego i uderzenia mechanicznego<sup>16</sup>.

W procesie tym indukcja magnetyczna wokół źródła pola jest używana do podgrzania metalowych śrub mocujących części obudowy telefonów. Podgrzanie polega na ogrzaniu telefonu z temperatury pokojowej do temperatury 400°C w 3 sekundy. Plastik wokół śruby topi się. Szybkie mechaniczne uderzenie jest wykonywane natychmiast po podgrzaniu w celu rozbicia telefonów komórkowych na 6 lub 7 różnych części. Głównymi frakcjami są ciekłe kryształy, PVB (poliwinylbutyral) i obudowa. Części te mogą być odseparowane przy użyciu procesów separacji magnetycznej lub na sitach wibracyjnych. Ten rodzaj demontażu gwarantuje wysoki poziom odzysku materiałów z telefonów komórkowych.

Do pionierów nowych technologii demontażu różnych podzespołów elektronicznych z urządzeń AGD, RTV i telefonii jest firma EcoElectronics z Finlandii<sup>17</sup>.

Recykling telefonów komórkowych może się również odbywać z zastosowaniem dwóch metod, tj. podgrzewania indukcyjnego i demontażu mechanicznego. Utylizacja baterii i akumulatorów telefonicznych jest prowadzona osobno. Proces demontażu to kombinacja podgrzewania indukcyjną z mocnym uderzeniem mechanicznym powodującym oddzielenie elementów przytwierdzonych do płytek drukowanych z ceramiki. Metoda ta jest na razie w fazie testów; w firmie EcoElectronics badaniom poddano 3 modele telefonów Nokia i 3 piece indukcyjne o różnej częstotliwości prądu (250 kHz, 700 kHz, 1 MHz). W Polsce firmą, która

<sup>15</sup> <http://poszukaj.eketroda.pl/szukaj.polimer-uv.html>.

<sup>16</sup> Woynarowska A., Żukowski W.: Termiczne przekształcanie zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego. „Czasopismo Techniczne Chemia”, z. 2, Politechnika Krakowska, Kraków 2011.

<sup>17</sup> [www.tremolo.pl/Laboratoria.Utylizacja\\_Telefonow\\_Komorkowych.pdf](http://www.tremolo.pl/Laboratoria.Utylizacja_Telefonow_Komorkowych.pdf); Leskinen K., Ahonen H., Tanskanen P., Takala R.: Demontaż telefonów komórkowych. „Recykling”, nr 4, 2003.

proceeds recycling mobile phones is Recykling System sp. z o.o. with headquarters in Tarnobrzeg.

Metals contained in mobile phone scrap can be recovered in pyrometallurgical and hydrometallurgical processes<sup>18</sup>.

**Pyrometallurgical processes** involve the recovery of materials through the melting of metals in special furnaces. Their advantage is the possibility of recycling various types of waste, including organic electrolytes. There are industrial installations that process unsorted mobile phone scrap, such as Citron (France). The technology used there allows for the recovery of zinc, lead and cadmium after their earlier evaporation in a rotary furnace at 1250°C. Remaining metals: iron, manganese, nickel, chromium, cobalt, copper and others contained in the slag phase, can be further processed<sup>19</sup>.

In the case of mobile phone scrap Ni-Cd, SAB, NIFE, SNAM, INMETCO technologies based on cadmium distillation at 900°C are used. The resulting cadmium oxide is used, for example, in the production of mobile phone scrap and cadmium pigments, while the iron-nickel part is used for the production of steel alloys. In these technologies, however, nickel and cadmium are not fully recovered<sup>20</sup>.

Pyrometallurgical processes are energy-intensive, causing dust and gas emissions into the atmosphere; moreover, the efficiency of such recycling is relatively low.

Pyrometallurgical methods are used during the recovery of noble metals. Many companies (e.g. Umicore, Belgium) use this type of recycling to produce high-quality scrap of various electronic components. This scrap is then sold, and the recovered metals, such as gold, silver, platinum group metals (Pd, Pt, Rh, Ir, Ru). This type of recycling is also used in Italy.

**Hydrometallurgical processes** involve the acid or alkaline leaching of appropriately prepared mobile phone scrap. The whole process usually consists of the following steps:

- dissolution of appropriate fractions of waste,
- purification and concentration of the obtained solution,
- separation of pure chemical compounds.

In industrial practice, the Batenus technology is used. It is a multi-stage hydrometallurgical process used since 1996. It allows for the recovery of over 99.5%

<sup>18</sup> Woynarowska A., Żukowski W.: Współczesne..., op.cit.; [www.oostdam.pl/odzyskiwanie-metali-z-elektroniki](http://www.oostdam.pl/odzyskiwanie-metali-z-elektroniki), 14.02.2018.

<sup>19</sup> Marek A., Tarabula-Fiertak M.: Recykling baterii i akumulatorów. [www.akademiaodpadowa.pl/599,a,19-recykling-baterii-i-akumulatorow.htm](http://www.akademiaodpadowa.pl/599,a,19-recykling-baterii-i-akumulatorow.htm).

<sup>20</sup> [www.snam.com](http://www.snam.com).

komponentów ze zużytych baterii i akumulatorów, a odzyskiwane metale nadają się bezpośrednio do ponownego użycia<sup>21</sup>.

Innymi metodami są ługowanie w kwasie chlorowodorowym (proces TNO). Ostatecznie nikiel i kadm odzyskiwane są w procesie elektrolizy. Z kolei ługowanie w kwasie siarkowym (metoda Bertolozzi'ego) prowadzi do uzyskania soli niklu, kadmu i żelaza w przypadku akumulatorów Ni-Cd. Z kolei odzysk użytecznych składników akumulatorów Ni-MH następuje dzięki zastosowaniu technologii stanowiącej kombinację dwustopniowego ługowania w kwasie azotowym i solnym, ekstrakcji rozpuszczalnikowej i technik precypitacyjnych<sup>22</sup>.

Po procesach wytapiania lub ługowania ciekłe metale są kierowane do linii produkcyjnych, gdzie metodą elektrolizy zostają przekształcone w wysoko gatunkowe produkty. Zaletą metod hydrometalurgicznych są niskie nakłady energetyczne, wysoki stopień odzysku oraz powstawanie nieznacznej ilości odpadów wtórnych.

W ostatnim czasie wiele uwagi poświęca się tzw. metodom mokrym, takim jak zastosowanie tiomocznika. Zastępuje ona tradycyjną metodę ługowania złotonośnych odpadów (ługowanie cyjankami). Istnieją też metody biometalurgiczne, jednak dalej są na etapie badań laboratoryjnych.

## 5. Podsumowanie i wnioski

Odpady sprzętu elektrycznego i elektronicznego składają się głównie z tworzyw sztucznych. W skład powyższego sprzętu wchodzi również substancje uznane za niebezpieczne dla zdrowia ludzi lub mogące negatywnie oddziaływać na środowisko.

Część substancji, m.in. ołów, kadm, rtęć, czynniki chłodnicze zubożające warstwę ozonową została objęta zakazem stosowania w nowym sprzęcie elektrycznym i elektronicznym. Szkło oraz metale, np. miedź, aluminium, chrom, żelazo, nikiel, metale szlachetne mogą być ponownie wykorzystane.

### Wnioski

1. Recykling zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego może być realizowane w zróżnicowany sposób. Maja na to wpływ różne uwarunkowania, takie jak:
  - charakter odpadu (zróżnicowany skład fizykochemiczny ZSEE),
  - odmienne poziomy zaawansowania odzysku i recyklingu odpadów w różnych krajach,

---

<sup>21</sup> Nowacki M., Mroziński A.: Przykłady procesów recyklingu baterii w Polsce. „Inżynieria i Aparatura Chemiczna”, nr 5, 2012.

<sup>22</sup> Regulski Z.: Technologie recyklingu zużytych baterii i akumulatorów w Polsce. „Przegląd Komunalny. Dodatek – Zeszyty Komunalne”, nr 4, 2005.

- finansowanie przedsięwzięć odzysku i recyklingu,
  - wyposażenie obiektów w instalacje do odzysku i recyklingu,
  - stosowane technologie i metody odzysku,
  - okres czasu, w jakim wdrażany jest program odzysku i recyklingu,
  - stopień złożoności metod i ich wpływ na środowisko,
  - stopień odzysku surowców.
2. W państwach Unii Europejskiej, w tym w Polsce, w USA, a także w krajach azjatyckich (Japonia, Korea Południowa) w pierwszej kolejności stosowane są metody demontażu ręcznego, mechanicznego, automatycznego oraz separacja fizyczna. Spowodowane to jest niskim kosztem i dużą powszechnością urządzeń stosowanych do tego typu separacji. Ponadto są to metody proste i związane z niską szkodliwością dla środowiska. Metody te jednak nie gwarantują pełnego wykorzystania potencjału surowcowego i energetycznego zawartego w ZSEE. Metodą gwarantującą wysoki poziom odzysku materiałów jest podgrzewanie indukcyjne połączone z metoda mechaniczną (Finlandia).
  3. W niektórych krajach (Włochy, Belgia, Francja) podjęto próby odzysku przy użyciu metod chemicznych, takich jak pirometalurgia, hydrometalurgia i elektrometalurgia.
  4. Stosowane są również metody mokre, natomiast metody biometalurgiczne są nadal na etapie badań testowych.

## Bibliografia

1. Baic I.: Krajowy system zbiórki i utylizacji odpadów sprzętu elektrycznego i elektronicznego. „Recykling”, nr 11(59), 2006.
2. Baic I.: Przetwarzanie zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego – Koncepcja projektowa oraz wymogi formalno-prawne. Centrum Gospodarki odpadami, Oddział zamiejscowy IMBiGS, Warszawa 2008.
3. Bendkowski J., Wengierek M.: Logistyka odpadów, tom 1 i 2. Politechnika Śląska, Gliwice 2002/2004.
4. Dyrektywa 2002/95/EC Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 27 stycznia 2003 r. w sprawie ograniczenia stosowania pewnych niebezpiecznych substancji w sprzęcie elektrycznym i elektronicznym (DzU WE L 37 z 13 lutego 2003 r.).
5. Gonera M.: Problematyka ekologii w elektronice. I Krajowa konferencja naukowo-techniczna „Ekologia w elektronice”. Przemysłowy Instytut Elektroniki, Warszawa 2010.
6. <http://poszukaj.eketroda.pl/szukaj,polimer-uv.html>.
7. [http://teleguru.pl/wiadomości/artukul/apple\\_ma\\_robota\\_ktory\\_dba\\_o\\_srodowisko\\_naturalne\\_3130#.VzqeHfmLTIV](http://teleguru.pl/wiadomości/artukul/apple_ma_robota_ktory_dba_o_srodowisko_naturalne_3130#.VzqeHfmLTIV).

8. Januszkiewicz T.: Zużyty sprzęt elektryczny i elektroniczny jako globalny problem ekologiczny i ekonomiczny. „Gospodarka Materiałowa i Logistyka”, nr 4, 2007.
9. Kruczek M.: Model łańcucha logistyki odwrotnej zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego. Zeszyty Naukowe, seria Organizacja i Zarządzanie, z. 60. Politechnika Śląska, Gliwice 2012.
10. Leskinen K., Ahonen H., Tanskanen P., Takala R.: Demontaż telefonów komórkowych. „Recykling”, nr 4, 2003.
11. Marek A., Tarabuła-Fiertak M.: Recykling baterii i akumulatorów. [www.akademia.odpadowa.pl/599,a,19-recykling-baterii-i-akumulatorow.htm](http://www.akademia.odpadowa.pl/599,a,19-recykling-baterii-i-akumulatorow.htm).
12. Nowacki M., Mroziński A.: Przykłady procesów recyklingu baterii w Polsce. „Inżynieria i Aparatura Chemiczna”, nr 5, 2012.
13. Pyssa J.: Odzysk i unieszkodliwianie odpadów niebezpiecznych. Wydział Energetyki i Paliw, AGH, Kraków, <http://www.e-gospodarkaodpadami.pl/rynek/odzysk-i-unieszkodliwianie/>, 13.10.2016.
14. Regulski Z.: Technologie recyklingu zużytych baterii i akumulatorów w Polsce. „Przegląd Komunalny. Dodatek – Zeszyty Komunalne”, nr 4, 2005.
15. Tyszkiewicz J.: Recykling złomowanych urządzeń elektrycznych i elektronicznych powszechnego użytku. Materiały IGO, Warszawa 2000.
16. Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach (DzU 2013, poz. 21), Rozporządzenia wykonawcze do ww. ustaw – Ministra Środowiska, Ministra Gospodarki.
17. Ustawa z dnia 29 lipca 2005 r. o zużytym sprzęcie elektrycznym i elektronicznym (DzU 2008, nr 223, poz. 1464; DzU 2005, nr 180, poz. 1495), Rozporządzenia wykonawcze do ww. ustaw – Ministra Środowiska, Ministra Gospodarki.
18. Wengierek M.: Sposoby postępowania z odpadami niebezpiecznymi w województwie śląskim. Część I – uwarunkowania prawne i organizacyjne. Zeszyty Naukowe, seria Organizacja i Zarządzanie, z. 103. Politechnika Śląska, Gliwice 2017.
19. Wengierek M.: Sposoby postępowania z odpadami niebezpiecznymi w województwie śląskim. Część II – uwarunkowania prawne i organizacyjne wybranych rodzajów odpadów. Zeszyty Naukowe, seria Organizacja i Zarządzanie, z. 101. Politechnika Śląska, Gliwice 2017.
20. Wengierek M.: System logistyczny odpadów. Sfera regulacji. Współpraca uczestników łańcucha dostaw. Zeszyty Naukowe, seria Organizacja i Zarządzanie, z. 56. Politechnika Śląska, Gliwice 2011.
21. Woynarowska A., Żukowski W.: Termiczne przekształcanie zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego. „Czasopismo Techniczne Chemia”, z. 2, Politechnika Krakowska, Kraków 2011.
22. Woynarowska A., Żukowski W.: Współczesne metody recyklingu odpadów elektronicznych. Politechnika Krakowska, Kraków 2012.
23. [www.canon.pl/recykling/](http://www.canon.pl/recykling/).

24. [www.oostdam.pl/odzyskiwanie-metali-z-elektroniki](http://www.oostdam.pl/odzyskiwanie-metali-z-elektroniki).
25. [www.snam.com](http://www.snam.com).
26. [www.tremolo.pl/Laboratoria.Utylizacja\\_Telefonow\\_Komorkowych.pdf](http://www.tremolo.pl/Laboratoria.Utylizacja_Telefonow_Komorkowych.pdf).
27. Żurek J.: Ocena wybranego wyrobu pod względem jego demontażu i recyklingu. Komisja Budowy Maszyn PAN, vol. 27, nr 2, 2007.