



Elżbieta PIETRZYK-SOKULSKA*

Recykling jako potencjalne źródło pozyskiwania surowców mineralnych z wybranych grup odpadów

Streszczenie: Oszczędne gospodarowanie zasobami jest jednym z rozwiązań problemów środowiskowych, a także wyzwań gospodarczych Europy. Wymaga to jednak rezygnacji z gospodarki linearej bazującej na modelu „produkcja – zużycie – wyrzucenie” i zastąpieniu jej gospodarką o obiegu zamkniętym, w którym odpady są bazą różnych surowców, w tym mineralnych. Oszczędne wykorzystywanie surowców może przynieść znaczne oszczędności i przyczynić się do redukcji emisji gazów cieplarnianych i innych emisji, (w tym również do wód i gleb).

W związku z tym w gospodarce materiałowej coraz większe znaczenie mają surowce i materiały pochodzące z odzysku (tzw. wtórne), np. metale, kauczuk, drewno, papier, szkło itp. Tendencje obserwowane w krajach uprzemysłowionych wskazują, że odzysk niektórych surowców z odpadów jest na poziomie 40–50%. Ma to związek z coraz lepszym systemem sortowania odpadów i konsekwentną polityką preferującą ich wykorzystywanie. W Polsce również coraz większe znaczenie przywiązuje się do wykorzystania surowców wtórnych, zarówno z procesów produkcyjnych, jak też ze skupu. Wymuszają to z jednej strony obowiązujące i zaostrzane przepisy ochrony środowiska, a z drugiej względy ekonomiczne. Dotyczy to m.in. złomu i odpadów stalowych, metali nieżelaznych (miedzi, aluminium, ołowiu, cynku i cyny) oraz odpadów elektrycznych i elektronicznych (ZSEE), baterii i akumulatorów, a także wycofanych pojazdów samochodowych. Często odzysk surowców wtórnych z odpadów jest mniej energochłonny niż ze źródeł pierwotnych, a tym samym prośrodowiskowy (mniejsza emisja zanieczyszczeń) i efektywny ekonomicznie.

W artykule skupiono się na recyklingu ZSEE, baterii i akumulatorów oraz wycofanych z eksploatacji pojazdów, jako potencjalnym źródle wtórnych surowców mineralnych ważnych dla rozwoju innowacyjnych sektorów polskiej gospodarki.

Słowa kluczowe: recykling, wybrane odpady, surowce mineralne, odzysk surowców

Recycling as a potential source for mineral raw materials with selected groups of waste

Abstract: Effective resource management is one of the solutions to environmental issues and to economic challenges of Europe. However, it requires abandoning a linear economy that is based on the “take-make-waste” approach

* Dr hab. inż., prof. IGSMiE PAN, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków;
e-mail: eps@meeri.pl

and replacing it with a "closed-loop economy" in which waste becomes a base for different raw materials, including minerals. Effective use of raw materials may bring significant savings and may contribute to reduction of greenhouse gases and other emissions (including also emission to water and soil).

Therefore, in raw materials economy, resources and materials from recycling (so-called secondary) e.g. metals, rubber, wood, paper, glass etc. are becoming more and more important. The trends observed in industrial countries indicate that the recycling of some raw materials from waste is at the level of 40–50%. This is linked with a bigger and better system of sorting waste and consistent politics that prefer their use.

In Poland, more and more attention is also placed on the use of waste, both originating from production processes as well as these from collection points. This is forced, on the one hand, by existing and tightened environment protection laws, and by economic reasons on the other hand. Such a situation is relevant in cases including scrap and steel waste, non-ferrous metals (copper, aluminum, lead, zinc and tin) and Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE), batteries and end-of-life vehicles. Frequently, the recovery of recyclable materials from waste is less energy consuming than from primary sources and therefore, it is environmentally friendly (lower emissions of pollutants) and efficient from the economic point of view.

The paper presents recycling of WEEE, batteries and accumulators and end-of-life vehicles as sources of recyclable mineral materials important for the further development of modern industry.

Key words: recycling, raw materials, materials recovery

Wprowadzenie

Racjonalne gospodarowanie zasobami sprzyja m.in. rozwiązaniu problemów środowiskowych i stanowi jedno z wyzwań gospodarczych dla Europy. W tym celu należy zrezygnować z gospodarki linearnej, która bazuje na modelu „produkcja – zużycie – wyrzucenie” i wprowadzać gospodarkę o obiegu zamkniętym (Komunikat Komisji... 2014), gdy odpady mogą stać się bazą różnych, surowców wtórnych, w tym mineralnych. Racjonalne korzystanie z posiadanych zasobów surowców może być źródłem znacznych oszczędności, a jednocześnie przyczyniać się m.in. do redukcji emisji gazów cieplarnianych, niebezpiecznych dla utrzymania stabilności klimatu.

Prognozy szacują, że roczne zużycie surowców mineralnych, paliw kopalnych i biomasy wzrośnie do 2050 r. dwukrotnie (Wilczyński 2015). Wynika to m.in. ze wzrastającej liczby ludności, jej zamożności i krótszego cyklu życia wyrobów. Obecnie Unia Europejska jest zależna od importowanych surowców w większym stopniu niż inne regiony na świecie (40%), przy czym wiele z ich zasobów już w najbliższym czasie może się całkowicie wyczerpać.

W związku z tym w gospodarce materiałowej coraz większe znaczenie mają surowce i materiały pochodzące z odzysku (tzw. wtórne), np. metale, kauczuk, drewno, papier, szkło itp. Tendencje obserwowane w krajach uprzemysłowionych wskazują, że odzysk niektórych surowców z odpadów jest na poziomie 40–50%. Ma to związek z coraz lepszym systemem sortowania odpadów i konsekwentną polityką preferującą ich wykorzystywanie.

W Polsce również przywiązuje się coraz większą wagę do wykorzystania odpadów, zarówno z procesów produkcyjnych, jak też ze skupu. Wymuszają to z jednej strony obowiązujące i zaostrzane przepisy ochrony środowiska, a z drugiej względy ekonomiczne. Dotyczy to m.in. złomu i odpadów stalowych, metali nieżelaznych (miedzi, aluminium, ołowiu, cynku i cyny) oraz odpadów elektrycznych i elektronicznych (ZSEE), baterii i akumulatorów, a także wycofanych pojazdów samochodowych. Często odzysk surowców wtórnych z odpadów jest mniej energochłonny niż ze źródeł pierwotnych, a tym samym prośrodowiskowy (mniejsza emisja zanieczyszczeń) i efektywny ekonomicznie.

W Polsce w ostatnich latach lawinowemu wzrostowi ilości wytwarzanych odpadów towarzyszy zwiększające się zainteresowanie problematyką odzysku i recyklingu. Zgodnie z ustawą o odpadach z dnia 14.12.2012 r. (Dz.U. 2013.21 z późn. zm.), pod pojęciem odzysku rozumie się „jakikolwiek proces, którego głównym wynikiem jest to, aby odpady służyły użytecznemu zastosowaniu przez zastąpienie innych materiałów, które w przeciwnym przypadku zostałyby użyte do spełnienia danej funkcji, lub w wyniku którego odpady są przygotowywane do spełnienia takiej funkcji w danym zakładzie lub ogólnie w gospodarce (art. 3 ust. 1 pkt 14). Wykaz procesów odzysku określa załącznik nr 1 do ww. ustawy. Natomiast recykling to odzysk, w ramach którego odpady są ponownie przetwarzane na produkty, materiały lub substancje wykorzystywane w pierwotnym celu lub innych celach; obejmuje to ponowne przetwarzanie materiału organicznego (recykling organiczny), ale nie obejmuje odzysku energii i ponownego przetwarzania na materiały, które mają być wykorzystane jako paliwa lub do celów wypełniania wyrobisk (art. 3 ust. 1 pkt 23)”.

Recykling dotyczy trzech grup materiałów: złomu frakcji użytkowej, nietrafionych jakościowo wyrobów oraz ostatecznych odpadów. Zasadą recyklingu jest maksymalizacja ponownego wykorzystania materiałów, najlepiej do produkcji nowych wyrobów, zastępujących złomowane. Skuteczny recykling wymaga dobrego funkcjonowania wszystkich elementów systemowych, wchodzących w jego skład. System ten tworzą:

- właściwa polityka ustawodawcza państwa sprzyjająca recyklingowi, rozwój technologii przetwarzania odpadów, przede wszystkim w celu wykorzystania jak największej ich ilości,
- projektowanie dóbr z możliwie najszerszym wykorzystaniem w nich materiałów podatnych na recykling oraz możliwie jednorodnych materiałowo, co upraszcza ich późniejszy demontaż i segregację odpadów,
- projektowanie dóbr będących połączeniem różnych materiałów w taki sposób, aby ich późniejsze rozdzielanie na elementy zbudowane z jednorodnych materiałów było maksymalnie ułatwione,
- takie projektowanie dóbr, aby wszystkie (lub duża ich część) składowane odpady nadawały się do powtórnego wykorzystania bez przetwarzania lub przy minimalnych nakładach na doprowadzenie do postaci pełnowartościowej,
- system oznaczania zarówno opakowań produktów, jak i elementów składowych tych produktów, w celu ułatwienia rozpoznawania i segregacji odpadów.

W tym celu niezbędne jest podjęcie działań naprawczych, mających na celu racjonalizację gospodarowania odpadami, których realizacja pozwoliłaby na zwiększenie ilości surowców wtórnych i wytworzonych z nich produktów, zwracanych do obiegu materiałowego gospodarki, oraz zapewnienie równowagi środowiskowej. W tym zakresie w 2008 r. Unia Europejska ogłosiła inicjatywę w obszarze surowców mineralnych, której celem jest poprawa bezpieczeństwa surowcowego. Jednym z narzędzi służących temu działaniu ma być program *European Innovation Partnership (EIP) on Raw Materials* (<https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/eip-raw-materials/en/content/european-innovation-partnership-eip-raw-materials>), który ukierunkowany jest na realizację działań badawczo-rozwojowych prowadzących do identyfikacji innowacyjnych technologii odzysku przetwórstwa i recyklingu. Przeszkodą w procesie rozwoju sektora recyklingu są wyzwania badawcze, na których rozwiązanie często brak środków, lub bariery prawne i instytucjonalne ograniczające możliwości rozwoju.

1. Odzysk i recykling zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego (ZSEE)

Lawinowo wzrastające w ostatnich latach zużycie różnego rodzaju sprzętów elektrycznych i elektronicznych oraz urządzeń cyfrowych ma wpływ na ilość wytwarzanych po ich zużyciu odpadów (tzw. e-odpadów). Ze względu na zawartość w nich toksycznych składników, kwalifikowane są one zwykle do grupy odpadów niebezpiecznych. Rozwiązaniem problemu dla powiększającego się strumienia odpadów elektrycznych i elektronicznych jest ich ograniczenie dzięki procesom odzysku i recyklingu.

Nie od dzisiaj wiadomo, że ZSEE to prawdziwa „sztuczna kopalnia” różnego rodzaju metali i innych surowców. Nie bez powodu powszechny staje się termin „górnictwo miejskie” (*urban mining*). W związku z tym bardzo duże znaczenie mają prace m.in. nad technologiami odzysku metali ziem rzadkich (*Rare Earth Metals – REM*), które są stosowane w przemyśle nowych (wysokich) technologii, m.in. jako surowce poprawiające twardość części metalicznych oraz ich odporność na zużycie.

W recyklingu ZSEE wyróżnia się trzy podstawowe jego formy:

- I stopnia – naprawa i modernizacja ZSEE w celu ponownego użycia, sprzedaży itd.,
- II stopnia – demontaż podzespołów w celu ponownego ich wykorzystania w procesie produkcji,
- III stopnia – sortowanie i rozdrabnianie elementów urządzeń w celu odzyskania surowców.

Recykling ZSEE w Polsce regulowany jest przepisami ustawy o zużytym sprzęcie elektrycznym i elektronicznym ([Dz.U. 2015. poz. 1688](#)). Zgodnie z jej zapisami ZSEE podzielono na 10 grup:

- wielkogabarytowe urządzenia gospodarstwa domowego (pralki, chłodziarki, zamrażarki, zmywarki, grzejniki elektryczne itp.),
- małogabarytowe urządzenia gospodarstwa domowego (odkurzacze, żelazka, tostery, wagi, zegary, suszarki, gołarki itp.),
- sprzęt teleinformatyczny i telekomunikacyjny (komputery, laptopy, drukarki, kserokopiarki, kalkulatory, faksy, telefony itp.),
- sprzęt audiowizualny (odbiorniki radiowe i telewizyjne, kamery video, sprzęt hi-fi, wzmacniacze itp.),
- sprzęt oświetleniowy (liniowe i kompaktowe lampy fluorescencyjne, niskoprężne lampy sodowe itp.),
- narzędzia elektryczne i elektroniczne, z wyjątkiem wielkogabarytowych, stacjonarnych narzędzi przemysłowych (wiertarki, maszyny do szycia, kosiarki do trawy itp.),
- zabawki, sprzęt rekreacyjny i sportowy (konsole, gry video, kolejki elektryczne, automaty na monety itp.),
- wyroby medyczne, z wyjątkiem wszystkich wszczepianych i skażonych produktów;
- przyrządy do nadzoru i kontroli (termostaty, czujniki dymu itp.),
- automaty do wydawania (bankomaty, automaty z jedzeniem i napojami itp.).

Zgodnie z tymi wydzieleniami Główny Inspektorat Ochrony Środowiska (GIOŚ) prowadzi inwentaryzację podmiotów zajmujących się wprowadzaniem, zbieraniem i przetwarzaniem ZSEE, a także rejestrację ilości ZSEE. Informacje o ilości wprowadzonego, zebra-

TABELA 1. Masa wprowadzonego, zebranego i przetworzonego zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego (ZSEE)

TABLE 1. The mass of introduced, harvested and processed Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)

| Nazwa sprzętu | Masa ZSEE wprowadzonego na rynek [Mg] | | | | Masa zebranego ZSEE zużytego [Mg] | | | | Masa ZSEE przetworzonego [Mg] | | | |
|--|---------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | 2008 | 2010 | 2012 | 2014 | 2008 | 2010 | 2012 | 2014 | 2008 | 2010 | 2012 | 2014 |
| Wielkogabarytowe AGD | 264 730,6 | 242 595,9 | 242 073,4 | 265 840,2 | 17 682,3 | 54 227,9 | 74 510,7 | 79 562,1 | 17 468,9 | 53 204,2 | 82 870,0 | 80 054,4 |
| Malogabarytowe AGD | 56 584,8 | 42 928,2 | 43 93,7 | 50 159,3 | 2 225,6 | 8 745,2 | 14 678,4 | 19 058,3 | 2 855,9 | 8 865,9 | 15 939,9 | 18 540,7 |
| Sprzęt telef. i telekom. | 73 736,1 | 52 004,5 | 51 936,4 | 54 997,6 | 14 948,7 | 18 082,2 | 24 653,3 | 24 965,3 | 11 145,3 | 13 693,5 | 18 169,3 | 21 438,9 |
| Sprzęt audiowizualny | 71 571,0 | 54 018,6 | 50 290,7 | 40 811,6 | 8 080,1 | 14 873,7 | 23 459,1 | 24 872,4 | 7 522,3 | 13 993,8 | 21 217,1 | 21 669,7 |
| Sprzęt oświetleniowy | 34 133,0 | 31 157,1 | 30 267,8 | 36 798,2 | 11 252,4 | 17 061,2 | 6 607,4 | 5 950,6 | 9 001,9 | 5 298,0 | 6 485,0 | 6 364,1 |
| Narzędzia elektryczne i elektroniczne | 43 644,0 | 45 709,9 | 42 028,9 | 48 923,1 | 1 582,4 | 7 881,3 | 8 701,6 | 10 318,8 | 1 202,8 | 6 605,3 | 10 475,9 | 10 439,1 |
| Zabawki, sprzęt rekreacyjny i sportowy | 7 401,6 | 7 300,3 | 8 188,7 | 8 504,7 | 221,5 | 1 396,6 | 2 988,3 | 2 414,5 | 145,7 | 1 498,2 | 2 772,1 | 2 344,2 |
| Przyrządy medyczne | 3 371,4 | 4 179,2 | 5 033,6 | 4 002,6 | 135,5 | 247,2 | 609,2 | 565,6 | 84,9 | 163,0 | 626,2 | 572,6 |
| Przyrządy do nadzoru i kontroli | 4 887,1 | 4 778,5 | 5 482,5 | 6 219,3 | 155,9 | 566,2 | 752,5 | 1 108,8 | 75,1 | 340,7 | 624,6 | 800,1 |
| Automaty do wydawania | 4 119,6 | 2 436,1 | 1 998,2 | 2 611,6 | 141,3 | 149,9 | 217,7 | 115,4 | 287,3 | 27,2 | 233,7 | 138,9 |
| Ogółem | 564 143,2 | 487 108,3 | 441 693,9 | 518 868,2 | 56 425,7 | 123 231,4 | 157 178,2 | 168 931,8 | 49 790,1 | 103 689,8 | 159 413,8 | 162 362,7 |

Na podstawie: Raport o funkcjonowaniu systemu gospodarki ZSEE GIOŚ – 2009, 2011, 2013, 2015

nego i przetworzonego zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego (ZSEE) w latach 2008–2014 prezentuje tabela 1.

W obrębie poszczególnych grup ZSEE ilości wprowadzanego na rynek sprzętu w analizowanych latach są zróżnicowane. Spadek obserwowany jest w ilości sprzętu małogabarytowego AGD, teleinformatycznego i telekomunikacyjnego, audiowizualnego, a także automatów do wydawania. W pozostałych grupach obserwowane są tendencje wzrostowe. Natomiast w przypadku ilości zebranego i przetworzonego ZSEE obserwowany jest znaczny jej wzrost z wyjątkiem grupy sprzęt oświetleniowy oraz automaty do wydawania, gdzie odnotowano spadek w 2014 r. Związane jest to w pewnym stopniu z mniejszą ilością tych sprzętów wprowadzanych na rynek.

GIOŚ prowadzi także rejestr podmiotów zajmujących się wprowadzaniem sprzętu elektrycznego i elektronicznego na rynek, a także różnymi formami jego przetwarzania i odzysku (tab. 2) w poszczególnych województwach. Widoczne jest wyraźne zróżnicowanie

TABELA 2. Liczba podmiotów zbierających i przetwarzających ZSEE w poszczególnych województwach

TABLE 2. The number of entities collecting and processing WEEE in various provinces

| Województwo | Rodzaj prowadzonej działalności | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|---------------------------------|---|-------|-----|----|---|---|-------|---|--------|-----|----|-----|---|
| | 2008 | | | | | | | 2015 | | | | | | |
| | W | S | Z | P | X | R | A | W | S | Z | P | X | R | A |
| Dolnośląskie | 45 | | 198 | 3 | 2 | – | – | 500 | 1 | 1 145 | 10 | 2 | 10 | – |
| Kujawsko-pomorskie | 72 | | 398 | 4 | 2 | – | – | 143 | – | 597 | 12 | 1 | 13 | – |
| Lubelskie | 51 | | 238 | 2 | 2 | – | – | 96 | – | 416 | 5 | – | 2 | – |
| Lubuskie | 31 | | 218 | 19 | 1 | – | – | 91 | – | 419 | – | 14 | 1 | 4 |
| Łódzkie | 144 | | 455 | 8 | 4 | – | – | 274 | – | 861 | 12 | – | 10 | – |
| Małopolskie | 251 | | 579 | 9 | 10 | – | – | 520 | 1 | 1 178 | 12 | 2 | 16 | – |
| Mazowieckie | 1 231 | | 1 175 | 23 | 10 | – | – | 1 940 | 5 | 2 500 | 28 | 3 | 18 | 2 |
| Opolskie | 45 | | 198 | 3 | 2 | – | – | 87 | – | 357 | 3 | – | 1 | – |
| Podkarpackie | 61 | | 319 | 4 | 2 | – | – | 131 | – | 534 | 2 | 1 | 3 | – |
| Podlaskie | 37 | | 247 | 4 | 1 | – | – | 103 | – | 413 | 9 | – | 1 | – |
| Pomorskie | 149 | | 362 | 6 | 2 | – | – | 292 | – | 685 | 6 | 2 | 5 | – |
| Śląskie | 403 | | 1 286 | 13 | 13 | – | – | 759 | – | 2 042 | 24 | 4 | 28 | – |
| Świętokrzyskie | 30 | | 89 | 1 | 1 | – | – | 66 | – | 232 | 3 | – | 3 | – |
| Warmińsko-mazurskie | 36 | | 274 | 5 | 1 | – | – | 52 | – | 380 | 6 | – | – | – |
| Wielkopolskie | 248 | | 662 | 15 | 12 | – | – | 550 | – | 1 471 | 17 | – | 14 | – |
| Zachodniopomorskie | 94 | | 289 | 4 | 2 | – | – | 207 | 1 | 596 | 4 | – | – | – |
| Ogółem | 2 928 | – | 6 987 | 123 | 67 | – | – | 5 811 | 8 | 13 826 | 153 | 29 | 125 | 6 |

Na podstawie Rejestru GIOŚ 2015 i Raportu o funkcjonowaniu systemu gospodarki ZSEE GIOŚ 2009

w – wprowadzający sprzęt; S – organizacje odzysku; Z – zbierający zużyty sprzęt; P – prowadzący zakłady przetwarzania; X – prowadzący działalność w zakresie procesów odzysku innych niż recykling; R – prowadzący działalność w zakresie recyklingu; A – autoryzowani przedstawiciele

TABELA 3. Masa ZSEE poddana odzyskowi i recyklingowi i ponownie użyta
TABLE 3. The mass of WEEE recovered, recycled, and reused

| Nazwa sprzętu | 2008 | | | | 2014 | | | | |
|--|--|--------------------|--|--------------------|--|--------------------|--|--------------------|--|
| | Masa zużytego ZSEE poddana odzyskowi innemu niż recykling [Mg] | Poziom odzysku [%] | Masa zużytego ZSEE poddana recyklingowi [Mg] | Poziom odzysku [%] | Masa zużytego ZSEE poddana odzyskowi innemu niż recykling [Mg] | Poziom odzysku [%] | Masa zużytego ZSEE poddana recyklingowi [Mg] | Poziom odzysku [%] | Masa zużytego ZSEE ponownie użyta [Mg] |
| Wielkogabarytowe AGD | 162,8 | 86,39 | 768,2 | 84,45 | 684,7 | 91,37 | 69 164,6 | 90,47 | 162,956 |
| Małogabarytowe AGD | 47,8 | 81,34 | 1050,1 | 79,03 | 80,4 | 88,38 | 14 333,1 | 87,88 | 42,224 |
| Sprzęt teleinf. i telekom. | 170,2 | 83,72 | 5782,3 | 81,74 | 72,0 | 88,97 | 12 418,4 | 88,47 | 370,909 |
| Sprzęt audiowizualny | 121,6 | 82,26 | 5092,8 | 80,38 | 163,6 | 86,08 | 13 802,1 | 85,08 | 69,274 |
| Sprzęt oświetleniowy | 29,3 | 83,00 | 1667,8 | 74,63 | 56,3 | 93,28 | 5 733,1 | 92,89 | 1,132 |
| Narzędzia elektr. i elektroniczne | 75,8 | 50,00 | 529,8 | 39,67 | 23,6 | 87,03 | 8 402,4 | 86,78 | 3,599 |
| Zabawki, sprzęt rekreacyjny i sportowy | 8,3 | 81,36 | 40,1 | 80,29 | 30,5 | 87,42 | 2 241,0 | 86,25 | 6,913 |
| Przyrządy medyczne | 8,2 | 43,96 | 16,7 | 43,71 | 1,3 | 88,05 | 473,6 | 87,80 | 0,002 |
| Przyrządy do nadzoru i kontroli | 4,8 | 74,47 | 36,4 | 73,77 | 1,3 | 85,85 | 578,7 | 85,65 | 1,011 |
| Automaty do wydawania | 0,074 | 80,48 | 240,2 | 80,48 | 0,001 | 86,49 | 43,1 | 86,49 | 0,000 |
| Ogółem | 628,7 | - | 22 137,5 | - | 1113,9 | - | 127 190,1 | - | 658,022 |

Na podstawie: Raport o funkcjonowaniu systemu gospodarki ZSEE GIOŚ – 2009, 2015

terytorialne odnośnie liczby podmiotów, z wyraźną dominacją województwa mazowieckiego (1231) wśród wprowadzających sprzęt i województwa śląskiego, wśród zbierających go (1286). W innych województwach ilości te są kilkakrotnie mniejsze. Zastanawiająca jest jednak liczba zarejestrowanych podmiotów zajmujących się przetwarzaniem i odzyskiem surowców z zebranej ilości ZSEE, czy to na drodze recyklingu, czy innych sposobów odzysku. W 2014 r. liczba podmiotów zbierających ZSEE to 13826, a przetwarzających (P + R + X) tylko 307, więc 40 razy mniej. Zastanawiająca jest także śladowa liczba zarejestrowanych podmiotów autoryzowanych – tylko 6 jednostek w województwie lubuskim i mazowieckim.

Analizując ilość ZSEE poddaną recyklingowi lub innemu procesowi odzysku, a także poziom odzysku w 2008 r. i 2014 r. (tab. 3) dostrzega się wzrost, zwłaszcza jeśli uwzględni się recykling i masę sprzętu ponownie zużytego. Natomiast w niektórych grupach poddanych innym procesom niż recykling obserwowany jest w 2014 r. spadek masy sprzętu poddanego tym procesom. Może to być związane z coraz nowszymi technologiami ich wytwarzania, za którymi nie nadążają technologie przetwarzania innego niż recykling (m.in. sprzęt medyczny, telekomunikacyjny i teleinformatyczny, a także narzędzia). Natomiast wzrost masy sprzętu poddanego procesom recyklingu zwiększa się rokrocznie, co wiąże się z większą liczbą tego typu podmiotów, a także wzrostem ich specjalizacji, co przekłada się na wzrost sprzętu ponownie użytego w całości. Jeżeli uwzględni się ilość zebranego ZSEE w przeliczeniu na 1 mieszkańca w Polsce, to okaże się, że do 2013 r. ma ona tendencję wzrostową, a w 2013 i 2014 nieznacznie spada (tab. 4). Może to mieć związek z nasyceniem rynku nowoczesnym sprzętem elektrycznym i elektronicznym i zmniejszoną jego podażą w ostatnich latach lub dłuższym czasem jego użytkowania (lepsza jakość).

TABELA 4. Masa zebranego ZSEE w przeliczeniu na 1 mieszkańca [kg]

TABLE 4. The mass of WEEE collected per capita 1 [kg]

| 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0,13 | 0,71 | 1,48 | 2,70 | 2,80 | 3,55 | 4,34 | 4,25 | 4,15 |

Według Raportu o funkcjonowaniu systemu gospodarki ZSEE GIOŚ 2015

W ostatnich latach do odzyskiwania surowców (w tym metalicznych) z ZSEE stosowane są następujące technologie (Woynarowska i Żukowski 2012):

- selektywny demontaż urządzeń,
- rozdział poszczególnych elementów m.in. na: metale, tworzywa sztuczne, papier, drewno, ceramikę oraz elementy toksyczne (np. ołów ze stopów lutowanych, halogenki itp.),
- rozdrobnienie frakcji metalicznej,
- separacja magnetyczna, elektrostatyczna i prądowo-wirowa – działania mające na celu rozdzielenie żelaza, frakcji nieżelaznej oraz frakcji niemetalicznej,
- przetworzenie frakcji metalicznej metodą pirometalurgiczną i hydrometalurgiczną w celu odzyskania metali szlachetnych,
- separacja i oczyszczanie,
- poddanie materiału procesom elektrometalurgicznym.

W trakcie tych procesów można z ZSEE wyekstrahować m.in. metale ziem rzadkich (REM), które 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 zwykle wiąże się z dużymi kosztami, co czyni go nieopłacalnym. Jednak wzrost zapotrzebowania na REM, przy bardzo dużych kosztach ich pozyskania, spowodował szukanie innych źródeł ich pozyskania. Takim potencjalnym źródłem są odpady m.in. ZSEE, z których dzięki nowoczesnym technologiom recyklingu można je odzyskiwać. Jak szeroki jest wachlarz zastosowania niektórych z nich, pokazuje tabela 5.

TABELA 5. Istotne kierunki zastosowania REM

TABLE 5. Directions use of REM

| Nazwa REM | Możliwe wykorzystanie |
|-----------|--|
| 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 (stop aluminium) |

Opracowanie własne na podstawie: Paulo i Krzak 2015

Z ZSEE odzyskiwane są także metale nieżelazne (tzw. kolorowe) – m.in. miedź, cynk, cyna, ołów (Kozłowski, Czyżyk i Mazurek 2002).

Obecnie większość zakładów w Polsce przetwarzając odpady elektroniczne wspomaga się pracą ręczną, która nierzadko powoduje, że cały proces odzysku staje się mniej efektywny. Na świecie w zakresie przetwórstwa odpadów elektronicznych znane są jeszcze inne technologie odzysku, bardziej efektywne i związane z mniejszymi kosztami. W Japonii zastosowanie znajduje metoda oparta na separacji magnetycznej oraz pneumatycznej, natomiast w Korei wykorzystywane jest podejście bazujące na separacji prądowo-wirowej, a także separacji w cyklonie. We Włoszech obecnie sprawdzana jest skuteczność metod przetwarzania sprzętu elektronicznego z udziałem metod pirometalurgicznych i hydrometalurgicznych. Istnieje przekonanie, że takie podejście jest lepsze z punktu widzenia ilości wytwarzanych związków toksycznych stanowiących odpady stałe i ścieki, które należy oczyścić, co stwarza dodatkowe koszty konieczne na zakup specjalistycznej aparatury (Baic red. 2011).

Zużyty sprzęt elektroniczny jest źródłem wielu cennych składników, w tym metali trudnotopliwych, do których zalicza się tantal. Z uwagi na niekorzystne położenie źródeł wydobycia rud tantalonośnych i niepewność dostaw (co zdecydowało o nadaniu temu metalowi statusu surowca krytycznego) konieczne staje się podjęcie działań mających na celu jego odzysk. Tantal wykorzystywany jest w przemyśle elektronicznym do produkcji kondensatorów, które znajdują się w prawie każdym urządzeniu elektronicznym (m.in. w telefonach komórkowych i komputerach), w sprzęcie zbrojeniowym i kosmicznym. Ze względu na odporność na działanie większości kwasów i zasad, wykorzystywany jest do produkcji aparatury chemicznej. Istotnym problemem obserwowanym w Polsce jest brak instalacji do jego odzysku. W tym zakresie na świecie stosowane są różne metody, w zależności od materiału poddawanego recyklingowi. Znane są technologie odzysku tantalu z żużlu cyny, a także kondensatorów (Baic red. 2011).

TABELA 6. Obrót odpadami nadającymi się do recyklingu w latach 2005–2013 w jednostkach handlowych

TABLE 6. Turnover of wastes suitable for recycling in trade units in 2005–2013

| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
|------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Odpady stalowe i żeliwne [tys. Mg] | | | | | | | | | |
| Przychód | 2 732,5 | 2 606,2 | 2 730,7 | 3 436,9 | 2 410,3 | 2 818,6 | 3 069,3 | 2 813,5 | 4 068,9 |
| Sprzedaż | 2 408,8 | 2 610,1 | 3 471,3 | 3 245,0 | 2 249,4 | 2 441,7 | 2 697,9 | 2 514,1 | 3 423,7 |
| Eksport | 255,7 | 111,4 | 237,6 | 190,0 | 151,4 | 381,1 | 302,9 | 243,8 | 604,0 |
| Import | 0,9 | 1,8 | 9,5 | 2,6 | 0,9 | 20,2 | 27,7 | | 5,4 |
| Odpady Cu [tys. Mg] | | | | | | | | | |
| Przychód | 41,5 | 31,6 | 36,3 | 36,2 | 41,2 | 158,2 | 112,7 | 148,2 | 235,2 |
| Sprzedaż | 38,4 | 27,5 | 28,5 | 29,6 | 30,5 | 152,4 | 108,8 | 138,4 | 216,3 |
| Eksport | 2,6 | 4,2 | 6,7 | 6,1 | 3,6 | 4,7 | 3,0 | 8,0 | 17,7 |
| Import | | | | 0,001 | | 16,8 | 18,9 | 48,7 | 38,1 |
| Odpady Pb, Zn, Sn [tys. Mg] | | | | | | | | | |
| Przychód | 15,5 | 14,0 | 13,0 | 9,4 | 10,0 | 11,8 | 5,9 | 6,1 | 22,4 |
| Sprzedaż | 15,6 | 13,9 | 12,6 | 8,5 | 9,8 | 11,7 | 5,8 | 6,1 | 22,0 |
| Eksport | 0,031 | 0,019 | 0,123 | 0,012 | 0,104 | 0,051 | 0,001 | 0,021 | 0,307 |
| Import | 0,046 | 0,048 | | | | | | | 0,153 |
| ODPADY Al [tys. Mg] | | | | | | | | | |
| Przychód | 49,0 | 54,2 | 47,4 | 52,4 | 47,7 | 66,2 | 47,8 | 63,5 | 188,2 |
| Sprzedaż | 47,9 | 52,8 | 45,0 | 48,3 | 40,2 | 58,8 | 38,4 | 47,9 | 148,0 |
| Eksport | 0,620 | 0,542 | 0,722 | 2,6 | 6,4 | 8,3 | 10,2 | 16,6 | 37,9 |
| Import | 0,046 | 0,072 | | 0,034 | 0,011 | 0,001 | 0,021 | 0,024 | 3,143 |

Według: Gospodarka materiałowa GUS, 2006, 2008, 2014

Poza tantalem, w skład odpadów elektronicznych, tj. ekranów ciekłokrystalicznych (LCD), wchodzi m.in. pierwiastki takie jak ind oraz cyna. Obserwowany postęp technologiczny oraz cywilizacyjny przyczyniły się do wzrostu zapotrzebowania na tego typu metale, z których pierwszy określany jest jako krytyczny. W Polsce nie są obecnie podejmowane działania umożliwiające efektywne gospodarowanie odpadami ekranów ciekłokrystalicznych. W zakresie recyklingu telewizorów z tradycyjnymi ekranami zastosowanie znajduje metoda, w której pierwszy etap polega na demontażu ręcznym na istotne do dalszej przeróbki elementy, które trafiają do bardziej wyspecjalizowanych firm, zajmujących się odzyskiem poszczególnych komponentów. Przykładowo: płytka z obwodem drukowanym zawiera 16% miedzi, 4% cyny, około 3% żelaza i ferrytu oraz 2% niklu i odrobinę srebra (Woynarowska i Żukowski 2012).

TABELA 7. Obrót odpadami nadającymi się do recyklingu w latach 2005–2013 w jednostkach produkcyjnych

TABLE 7. Turnover waste suitable for recycling in the years 2005–2013 in production units

| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
|------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Odpady stalowe i żeliwne [tys. Mg] | | | | | | | | | |
| Przychód | 5 248,6 | 6 523,2 | 6 711,5 | 6 557,2 | 5 429,7 | 5 781,1 | 6 362,6 | 5 933,1 | 5 801,2 |
| Sprzedaż | 247,8 | 260,3 | 247,2 | 300,1 | 217,3 | 208,1 | 235,8 | 191,4 | 3 426,2 |
| Eksport | | | | | 0,79 | 1,0 | 1,2 | 1,4 | 112,2 |
| Import | 177,4 | 260,8 | 296,1 | 325,7 | 450,7 | 341,3 | 371,5 | 333,9 | 0,481 |
| Odpady Cu [tys. Mg] | | | | | | | | | |
| Przychód | 147,5 | 133,7 | 179,7 | 172,8 | 169,1 | 197,8 | 197,4 | 230,4 | 200,0 |
| Sprzedaż | 45,2 | 28,7 | 40,0 | 40,1 | 27,8 | 23,9 | 42,5 | 61,8 | 42,5 |
| Eksport | 0,3 | 4,6 | 5,2 | 2,3 | 6,1 | 4,6 | 5,9 | 2,6 | 42,5 |
| Import | 0,5 | 0,9 | 1,7 | 0,7 | 1,1 | 3,1 | 3,5 | 2,3 | 2,8 |
| Odpady Pb, Zn, Sn [tys. Mg] | | | | | | | | | |
| Przychód | 132,6 | 136,1 | 145,3 | 133,3 | 142,3 | 152,6 | 168,1 | 180,1 | 190,1 |
| Sprzedaż | 33,7 | 35,2 | 38,5 | 29,9 | 35,8 | 33,9 | 37,5 | 37,2 | 33,3 |
| Eksport | 0,3 | 0,6 | 0,7 | 0,2 | 1,1 | 0,1 | 0,3 | 0,5 | 0,7 |
| Import | 6,2 | 6,5 | 7,6 | 9,9 | 10,2 | 13,9 | 25,0 | 116,4 | 33,7 |
| Odpady Al [tys. Mg] | | | | | | | | | |
| Przychód | 361,2 | 411,0 | 462,7 | 409,6 | 343,3 | 398,7 | 457,7 | 474,6 | 582,9 |
| Sprzedaż | 105,8 | 141,4 | 154,7 | 185,5 | 139,7 | 150,9 | 159,6 | 158,8 | 151,9 |
| Eksport | 11,1 | 11,4 | 11,4 | 14,1 | 5,1 | 3,4 | 4,9 | 7,9 | 8,7 |
| Import | 24,1 | 37,2 | 41,2 | 26,1 | 53,9 | 73,1 | 89,2 | 76,7 | 131,2 |

Według: Gospodarka materiałowa GUS, 2006, 2008, 2014

Brakuje jednak danych o ilościach odzyskiwanych surowców mineralnych. Główny Urząd Statystyczny (GUS) podaje ogólne ilości odpadów stalowych i żeliwnych, miedzi, ołowiu, cynku, cyny oraz aluminium nadające się do recyklingu w rozróżnieniu na jednostki handlowe i produkcyjne. Wielkość ich przychodu, sprzedaży krajowej, eksportu i importu w latach 2005–2013 prezentują tabele 6 i 7.

Zarówno przychody, jak i sprzedaż, import i eksport wykazują wahania, co związane jest zapewne z popytem na dany surowiec, ale także koniunkturą na rynku krajowym i światowym. Zestawienia GUS nie wykazują jednak ilości odzyskiwanych innych surowców mineralnych, ważnych dla rozwoju nowoczesnych technologii i innowacyjnych produktów. Na podstawie danych o produkcji tego typu wyrobów można wnioskować, że zapotrzebowanie na REM oraz inne surowce wzrasta, a naturalne źródła ich pozyskiwania kurczą się lub stają się ze względów politycznych niedostępne.

2. Odzysk i recykling zużytych baterii i akumulatorów w Polsce

Zużyte baterie i akumulatory są niebezpiecznymi odpadami, które nie powinny być magazynowane na składowiskach. Wg danych szacunkowych rocznie na świecie sprzedawanych jest około 300 mln sztuk (7,5 tys. Mg) baterii i akumulatorów małogabarytowych (Marek i Tarabuła-Fiertak 2015). W Polsce prowadzona jest ich zbiórka, w której dużą rolę mają tzw. organizacje odzysku m.in. pięciu największych producentów baterii obecnych na polskim rynku. Podejmują one liczne działania promujące zbiórkę baterii wśród osób dorosłych, młodzieży i dzieci (Nowacki i Mroziński 2012). Masę wprowadzonych do obrotu i zebranych baterii i akumulatorów w 2010 r. w poszczególnych województwach przedstawia tabela 8.

Brak natomiast danych o masie i rodzaju odzyskanych surowców mineralnych. We wszystkich rodzajach baterii występują co najmniej dwa składniki – metale lub ich związki. Powoduje to konieczność stosowania różnych metod i technologii przerobu zużytych ogniw. W zależności od rodzaju baterii różne też mogą być odzyskiwane z nich surowce (Marek i Tarabuła-Fiertak 2015):

- baterie alkaliczne – jej katoda wykonana jest ze sproszkowanego dwutlenku manganu (MnO_2), zaś anoda z tlenku cynku, a zasadowym elektrolitem jest wodny roztwór wodorotlenku potasu (KOH),
- baterie cynkowo-węglowe – katoda wykonana jest z pręta węglowego otoczonego dwutlenkiem manganu, zaś anoda z cynku, a elektrolitem jest wodny roztwór chlorku amonu lub chlorku cynku,
- baterie srebrne – katoda wykonana jest z tlenku srebra, anoda z cynku, a zasadowym elektrolitem jest roztwór wodorotlenku potasu (KOH),
- baterie rtęciowe – katoda wykonana jest z rtęci, anoda z cynku, a elektrolitem jest wodny roztwór wodorotlenku potasu (KOH),
- baterie litowo-manganowe – anoda wykonana jest z litu, katodą jest sproszkowany dwutlenek manganu, a elektrolit organiczny,
- baterie cynkowo-powietrzne – katodą jest tlen (O_2), anodą sproszkowany cynk, a elektrolitem wodorotlenek potasu (KOH).

Litowo-jonowe ogniwa wtórne (LIBs) zawierają metale ciężkie, komponenty organiczne oraz tworzywa sztuczne w proporcjach: 5–20% kobaltu (Co), 5–21% niklu (Ni), 5–7% Li,

TABELA 8. Masa wprowadzonych do obrotu i zebranych zużytych baterii i akumulatorów w 2010 r.

TABLE 8. The mass marketed and collected waste batteries and accumulators in 2010

| Nazwa województwa | Masa wprowadzonych do obrotu baterii i akumulatorów przenośnych [kg] | Masa zebranych zużytych baterii i akumulatorów przenośnych [kg] |
|---------------------|--|---|
| Dolnośląskie | 786 356,36 | 121 699,36 |
| Kujawsko-Pomorskie | 13 717,92 | 2 113,02 |
| Lubelskie | 1 284,45 | 146,86 |
| Lubuskie | 24 919,64 | 3 037,95 |
| Łódzkie | 62 424,92 | 7 363,74 |
| Małopolskie | 669 266,67 | 65 276,64 |
| Mazowieckie | 7 198 237,68 | 1 388 202,62 |
| Opolskie | 8 072,85 | 1 274,52 |
| Podkarpackie | 85 012,10 | 25 668,45 |
| Podlaskie | 13 856,31 | 2 328,10 |
| Pomorskie | 404 202,99 | 68 157,83 |
| Śląskie | 202 990,74 | 31 601,75 |
| Świętokrzyskie | 37 732,51 | 5 089,86 |
| Warmińsko-mazurskie | 770,60 | 191,25 |
| Wielkopolskie | 279 820,02 | 46 298,99 |
| Zachodniopomorskie | 47 705,16 | 6 388,02 |
| OGÓLEM | 9 866 370,92 | 1 774 838,76 |

Według: Korkozowicz 2010. Co dalej z recyklingiem baterii? *Odpady i Środowisko* nr 5, s. 63–65 za Nowacki i Mroziński 2012. Przykłady procesów recyklingu baterii w Polsce. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna* nr 5, s. 239–241.

15% substancji organicznych oraz 7% tworzyw sztucznych. Skład ten może się nieco różnić w zależności od producenta (Shin i in. 2005). Recykling LIBs napotyka dwa problemy: usuwanie szkodliwych odpadów oraz zapobieganie wybuchowi baterii podczas procesu recyklingu, gdyż w przeciwieństwie do innych typów baterii, LIBs często wybuchają podczas procesów przetwarzania z powodu gwałtownego utleniania metalicznego litu, odzyskiwanego podczas recyklingu metali z zużytych baterii (Močko i Szmidt 2012).

W przypadku akumulatorów rozróżnia się w zależności od składu elektrolitu i budowy elektrod następujące ich rodzaje (Marek i Tarabuła-Fiertak 2015):

- akumulatory kwasowo-ołowiowe – elektrolitem jest roztwór kwasu siarkowego, anoda wykonana jest z ołowiu (z dodatkami), katoda z tlenku ołowiu (IV) PbO₂ immobilizowanego na ramce ołowianej; masowo wykorzystywane w samochodach,
- akumulatory NiCd (tzw. wtórne baterie alkaliczne) – elektrody wykonane są z wodorotlenku niklu i wodorotlenku kadmu, elektrolitem są półpłynne lub stałe substancje

o składzie chemicznym różniącym się w zależności od producenta, ale zawsze posiadającym silnie zasadowy odczyn,

- akumulatory NiMH – ulepszona odmiana akumulatorów NiCd, w których jedna z elektrod wykonana jest z niklu, druga ze spieku metali ziem rzadkich w atmosferze wodoru; elektrolitem jest gąbczasta struktura nasączona substancjami alkalicznymi oraz złożonym chemicznie katalizatorem,
- akumulatory Li-ion – jedna z elektrod wykonana jest z porowatego węgla, a druga z tlenków metali, elektrolit to złożone chemicznie sole litowe rozpuszczone w mieszaninie rozpuszczalników organicznych,
- akumulatory litowo-polimerowe – odmiana akumulatorów Li-ion, w których ciekły elektrolit jest zastąpiony stałym elektrolitem polimerowym wykonanym np. z gąbek na bazie poliakrylonitrylu.

Przyjmuje się, że 1 Mg zużytych baterii zawiera przeciętnie następujące składniki (Korcozowicz 2010):

- dwutlenek manganu 270 kg (27%),
- żelazo 210 kg (21%),
- cynk 160 kg (16%),
- grafit 60 kg (6%),
- chlorek amonowy 35 kg (3,5%),
- miedź 20 kg (2%),
- wodorotlenek potasu 10 kg (1%),
- rtęć (tlenek rtęci) 3 kg (0,3%),
- kilka kilogramów niklu i litu (0,4%),
- kadm 0,5 kg (0,05%),
- srebro (tlenek srebra) 0,3 kg (0,03%),
- niewielkie ilości kobaltu.

GIOS prowadzi na bieżąco rejestr podmiotów zajmujących się zbieraniem i przetwarzaniem baterii i akumulatorów, co ilustruje tabela 9.

Z danych wynika, że bardzo duża liczba podmiotów wprowadza baterie i akumulatory na rynek, natomiast liczba zarejestrowanych podmiotów zajmujących się ich przetwarzaniem jest znikoma.

Zużyte baterie Zn/Mn i alkaliczne są obecnie przetwarzane w Polsce m.in. w Recupyl Polska SA (Gorzów Wielkopolski). Ostatnio firma uruchomiła nową instalację przemysłową w Zakładzie BatEko w Polkowicach. Obydwa zakłady przerabiają zużyte baterie mechanicznie na frakcję (z udziałem procentowym do masy wejściowej): ferromagnetyczną (25%), kierowaną do hut; diamagnetyczną (10%), przeznaczoną do odzysku energetycznego; paramagnetyczną (65%), tzw. masę czarną produkt cynkowo-manganowy. Produkt paramagnetyczny, po uszlachetnieniu zgodnie z dyrektywami UE, winien być recyklowany. Realizowana przez konsorcjum (ICHP Warszawa, IMN, Politechnika Poznańska, Uniwersytet Warszawski, firma Panasonic) nowa technologia, umożliwi przetwarzanie produktu paramagnetycznego do postaci umożliwiającej jej zawrót do produkcji nowych baterii. Cynk i istotna część manganu będą wyprowadzane w postaci mieszanej soli Zn/Mn o niekomercyjnym znaczeniu. Konieczny jest jednak dalszy rozwój technologii, zmierzający do odzysku Zn i Mn w postaci produktów o wysokiej wartości dodanej (<http://bateko.com.pl/o-nas>).

TABELA 9. Liczba zarejestrowanych podmiotów wprowadzających na rynek oraz przetwarzających zużyte baterie i akumulatory w poszczególnych województwach (2015 r.)

TABLE 9. The number of registered operators on the market who place and process waste batteries and accumulators in individual provinces (2015)

| Nazwa województwa | Wprowadzający baterie i akumulatory | Przetwarzający baterie i akumulatory | Wprowadzający i przetwarzający baterie i akumulatory |
|---------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--|
| Dolnośląskie | 246 | 3 | – |
| Kujawsko-pomorskie | 56 | 2 | – |
| Lubelskie | 44 | 2 | – |
| Lubuskie | 38 | 1 | – |
| Łódzkie | 134 | – | – |
| Małopolskie | 239 | 1 | – |
| Mazowieckie | 1 134 | 8 | 2 |
| Opolskie | 33 | – | – |
| Podkarpackie | 57 | 1 | – |
| Podlaskie | 117 | – | – |
| Pomorskie | 151 | – | – |
| Śląskie | 347 | 5 | 1 |
| Świętokrzyskie | 34 | 1 | – |
| Warmińsko-mazurskie | 23 | – | – |
| Wielkopolskie | 353 | – | – |
| Zachodniopomorskie | 104 | – | – |
| Ogółem | 2 910 | 24 | 3 |

Według: Rejestr GIOŚ 2015 r. (http://rzseie.gios.gov.pl/szukaj_rzseie.php)

Spółka BatEko (powołana w grudniu 2013 r.) w celu realizacji zadań wynikających z ustawy o bateriach i akumulatorach, przejęła od KGHM Ecoren (w styczniu 2014 r.) zakład zajmujący się przetwarzaniem baterii i akumulatorów. Sortowanie baterii prowadzi do wyodrębnienia jednorodnego strumienia baterii w postaci baterii alkalicznych oraz cynkowo-węglowych (ponad 80%), który zostaje poddany mechanicznemu procesowi recyklingu. Podczas przetwarzania baterii i akumulatorów małowabarytowych powstają następujące frakcje:

- ferromagnetyczna – części metalowe zawierające żelazo, nikiel, chrom stanowiące około 30% masy ogólnej, poddana następnie oczyszczaniu na sitach,
- paramagnetyczna – w postaci czarnego proszku zawierającego szereg pierwiastków metali, stanowiąca około 50% masy ogólnej – poddana dalszemu odzyskowi w procesach hutniczych lub hydrometalurgicznych,
- diamagnetyczna – odpady o kodzie 19 12 10, według rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2014 r. w sprawie katalogu odpadów (zmielone tworzywa sztuczne PE i PCW, papier, smoła żelatyna itp.) stanowiące około 20% masy ogólnej odpadów.

Wytworzone w zakładzie odpady są poddawane odzyskowi we własnym zakresie lub przekazywane do dalszego odzysku bądź unieszkodliwiania poza DKE.

Spółka Recupyl Polska została założona w 2009 r. przez Recupyl SAS (Domene, Francja), Zakład Utylizacji Odpadów Sp. z o.o. (Gorzów Wlkp.) i AK NOVA Sp. z o.o (Poznań). Jest jedną z wiodących firm specjalizujących się w recyklingu zużytych baterii i akumulatorów alkalicznych, cynkowo-powietrznych i cynkowo-węglowych w procesach mechanicznego przetwarzania. Firma dysponuje sortownią i linią mechanicznego przetwarzania baterii i akumulatorów cynkowych. Efektem recyklingu są trzy frakcje materiałowe: papier, plastik i proszek cynkowo-manganowy, które następnie zagospodarowywane są przez partnerów firmy. Przy współpracy z innymi partnerami w kraju i za granicą zagospodarowują także inne typy baterii i akumulatorów (Pb, Li-Ion, Li, Ni-Cd, NiMH). Firma dysponuje międzynarodową normą ISO 9001:2008 oraz odpowiednim certyfikatem (<http://www.recupyl.pl/>).

Z uwagi na rosnące zainteresowanie tematyką odnawialnych źródeł energii, panele fotowoltaiczne staną się w niedalekiej przyszłości jedną z częściej wykorzystywanych możliwości ekologicznego pozyskiwania energii. Obecnie nie są znane technologie umożliwiające odzysk takich metali, jak tellur i ind, wchodzących w skład paneli słonecznych. Warto zauważyć, że ind, z uwagi na szerokie zastosowanie, uznawany jest za pierwiastek krytyczny.

Istnieją jednak metody pozwalające na odzysk krzemu z paneli fotowoltaicznych. W Polsce zespół naukowców z Wydziału Chemicznego Politechniki Gdańskiej opracował innowacyjną technologię (Klugmann-Radziemska 2015).

Ponad 60% ołowiu wyprodukowanego i używanego każdego roku na świecie jest produktem uzyskanym dzięki recyklingowi akumulatorów kwasowo-ołowiowych. Produktem recyklingu jest czysty ołów, tzw. miękki lub stopy ołowiu przeznaczone głównie do produkcji nowych akumulatorów. Proces produkcyjny polega na ogniowej rafinacji ołowiu surowego, powstającego podczas przetopu frakcji ołowionośnych zużytych akumulatorów. Rafinacja ołowiu jest procesem złożonym i długotrwałym (nawet do 100 godzin), skrócenie czasu trwania tego procesu jest możliwe m.in. poprzez wytwarzanie materiałów kwalifikowanych w postaci ołowiu stopowego, np. ołowiu antymonowego, który stanowi około 50% całkowitej krajowej produkcji stopów akumulatorowych, co daje 20 tys. Mg rocznie. Proponowane działania przyczynią się także do obniżenia kosztów produkcji ołowiu. Dodatkowo wytworzony ołów stopowy zmniejszy ilość zabiegów metalurgicznych koniecznych do wytworzenia normowanych stopów oraz ułatwi tworzenie zmodyfikowanych i nowych stopów przeznaczonych do określonych zastosowań. Proponowane zmiany materiałowo-technologiczne wpłyną na poprawę ekonomiki procesu oraz przyczynią się do zwiększenia konkurencyjności krajowego przemysłu recyklingu ołowiu akumulatorowego (Bystroń i Gradomski 2013).

3. Recykling pojazdów wycofanych z eksploatacji

W skali Unii Europejskiej według szacunków liczba pojazdów wycofanych z eksploatacji waha się pomiędzy 14 a 18 mln sztuk w ciągu roku i nadal będzie wzrastać. Z badań prowadzonych przez OECD (Industry as a Partner for... 2002) wynika, że w latach 1997–2020 liczba samochodów wzrośnie o około 20% (Dz.U.2005. Nr 25, poz. 202 z późn. zm.). Pojazdy wycofane z eksploatacji są źródłem niebezpiecznych odpadów i toksycznych emisji.

Niezbędne stało się stworzenie systemu gospodarowania pojazdami wycofanymi z eksploatacji, aby zredukować negatywny wpływ na środowisko z ich składowania ([Recykling pojazdów wycofanych... 2013](#)).

W Polsce zarejestrowanych jest obecnie ponad 19 mln sztuk pojazdów samochodów osobowych (77% całego rynku samochodowego). Na 1000 mieszkańców przypada 502 szt. samochodów (średnia europejska 484 szt.). Corocznie zmienia się struktura wiekowa tych samochodów. Obecnie średni wiek pojazdów samochodowych to ponad 17 lat. Przewidywane jest, że w najbliższych latach ilość złomowanych samochodów będzie się utrzymywać na poziomie około 500 tys. sztuk rocznie. Tymczasem jak wskazują rejestry Stowarzyszenia Forum Recyklingu Samochodów (FORS) liczba podmiotów zajmujących się zbieraniem i demontażem tych pojazdów nie jest duża (tab. 10).

TABELA 10. Stacje demontażu i punkty zbierania pojazdów wycofanych z eksploatacji w latach 2005–2014

TABLE 10. Dismantling stations and collection points for end of life vehicles in the years 2005–2014

| Lata | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Stacje demontażu | 360 | 453 | 551 | 611 | 657 | 693 | 734 | 792 | 854 | 924 |
| Punkty zbierania | 52 | 84 | 104 | 109 | 117 | 115 | 122 | 126 | 132 | 134 |

Według danych FORS (Stowarzyszenie Forum Recyklingu Samochodów)
(<http://fors.pl/wp-content/uploads/2014/01/>)

Skład surowcowy produkowanych samochodów jest różny w zależności od rodzaju i marki samochodu, co wiąże się z rodzajem odzyskiwanych w procesie recyklingu surowców metalicznych (tab. 11).

TABELA 11. Średnia zawartość metali w pojeździe samochodowym

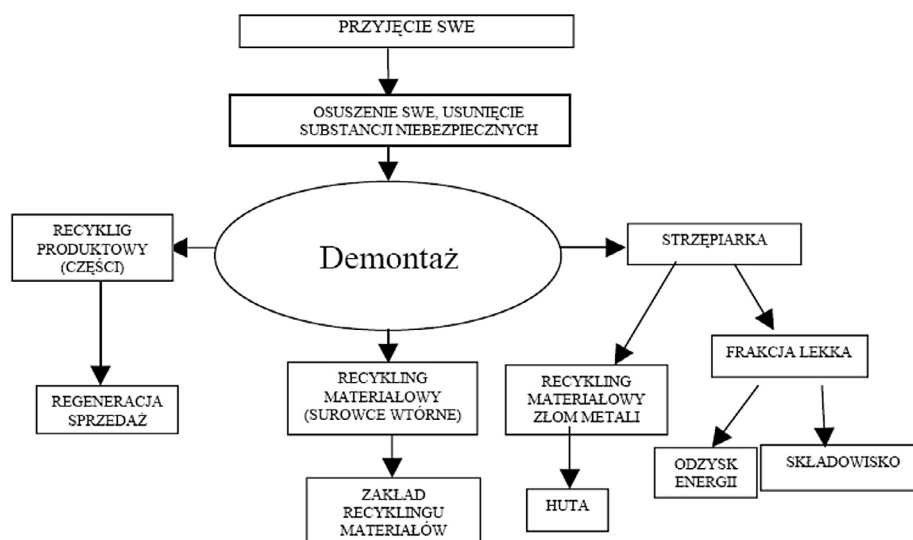
TABLE 11. The average metal content in a motor vehicle

| Materiał | Masa [kg] | [%] |
|-----------|-----------|----------|
| Stal | 788,7 | 71,7 |
| Żeliwo | 183,1 | 16,65 |
| Aluminium | 82,6 | 7,51 |
| Miedź | 19,1 | 1,74 |
| Cynk | 7,3 | 0,66 |
| Ołów | 11,3 | 1,03 |
| Platyna | 0,0027 | 0,000245 |

Według: Gola-Sienkiewicz 2008

Odpady wraków samochodowych przerabia się w Polsce dwiema metodami: poprzez demontaż częściowy, tj. elementów niebezpiecznych i strzępienie całego wraku samochodowe-

go oraz demontaż całkowity i sprzedaż wymontowanych części. Pierwszy sposób przerobu prowadzony jest w wyspecjalizowanych zakładach w instalacjach strzępienia i separacji, natomiast drugi sposób w zakładach demontażu. W wyniku przerobu złomu samochodowego na liniach strzępienia i separacji otrzymuje się frakcję magnetyczną, frakcję niemagnetyczną i frakcję niemetaliczną. Schemat procesu recyklingu pojazdów wycofanych z eksploatacji przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Schemat ogólny procesów odzysku i recyklingu pojazdów wycofanych z eksploatacji (Kubiak 2008)

Fig. 1. General scheme of the process of recycling end of life vehicles

Skład frakcji niemagnetycznej po strzępieniu wraków samochodowych zależy głównie od rodzaju przerabianego odpadu. Zawartość metali może wahać się w niej nawet w granicach 30–80%. Otrzymywana frakcja niemagnetyczna zawierająca głównie metale nieżelazne zawiera również zanieczyszczenia niemetaliczne, jak tworzywa, ziemia, piasek, tlenki metali (rdza) i inne. Zanieczyszczenia te powodują, że recykling wraków samochodowych staje się nieefektywny. Zanieczyszczenie niemetaliczne we frakcji niemagnetycznej po procesie strzępienia może wynosić nawet do 30%. Z kolei przy zastosowaniu sposobu przerobu poprzez demontaż części, zanieczyszczenia niemetaliczne trafiają często na dzikie wysypiska, negatywnie oddziałując na środowisko. Najgorzej sytuacja wygląda w przypadku nielegalnego demontażu wraków samochodowych, gdzie wymontowane materiały nie są nigdzie klasyfikowane i trafiają do nielegalnego obrotu materiałów. Wykorzystanie surowców z frakcji niemagnetycznych do wytwarzania produktów, jakimi są stopy metali nieżelaznych, może zwiększyć efektywność recyklingu wraków samochodowych. Poprzez wydzielenie stopów cynku i aluminium odzyskane zostaną frakcje wysokometaliczne o czystości powyżej 95% w porównaniu z materiałem przed procesem separacji zawierającym około 70% metali. Z otrzymanych frakcji metalicznych stopów cynku i stopów aluminium otrzymane zostaną stopy handlowe, znacznie zwiększające opłacalność procesu recyklingu, z uwzględnieniem ochrony środowiska (Jakubiak i Grzesik 2014).

Przedsiębiorca posiadający stację demontażu zobowiązany jest do uzyskania poziomu odzysku i recyklingu odpowiednio w wysokości 85 i 80% masy pojazdów przyjętych rocznie do stacji. Od 1 stycznia 2015 r. poziomy te wzrosły do odpowiednio 95 i 85% (Małuszynska i in. 2012). Istotną rolę w procesie recyklingu mają także producenci samochodów i części zamiennych. Powinni przygotować samochód i jego części do procesu recyklingu już na etapie projektowania. Często producenci samochodów sami organizują sieć recyklingu. Znaczną rolę w sprawnym przebiegu procesu recyklingu samochodów ma także administracja państwowa, jako przede wszystkim nadzorca systemu, zwłaszcza gdy nie działa on prawidłowo. Musi ona włączać się do procesu, określając zasady funkcjonowania sieci i gwarantując właściwe przetwarzanie samochodów wycofanych z eksploatacji (Merkisz-Guranowska 2007).

W 2013 r. Najwyższa Izba Kontroli oceniła funkcjonowanie recyklingu pojazdów wycofanych z eksploatacji w Polsce. Oto fragment raportu pokontrolnego: „Najwyższa Izba Kontroli ocenia negatywnie funkcjonowanie systemu gospodarowania pojazdami wycofanymi z eksploatacji. System ten nie gwarantuje realizacji głównego celu ustawy o recyklingu pojazdów, tj. zminimalizowania negatywnego wpływu na środowisko pojazdów wycofanych z eksploatacji przy założeniu, że wszystkie te pojazdy będą przekazywane wyłącznie do profesjonalnych stacji demontażu lub punktów zbierania pojazdów. Ustalenia kontroli wskazują, że funkcjonujący system kontroli i egzekucji obowiązujących przepisów prawa dotyczących recyklingu pojazdów wycofanych z eksploatacji, nie jest skuteczny” (Recykling pojazdów... 2013).

W celu usprawnienia i uszczelnienia recyklingu pojazdów wycofanych z eksploatacji niezbędne jest aktywne współdziałanie Ministra Środowiska ze wszystkimi podmiotami uczestniczącymi w systemie gospodarowania pojazdami. Niezbędne jest zwłaszcza usprawnienie systemu nadzoru nad rynkiem pojazdów, w tym kontroli i egzekucji przepisów prawa dotyczących tego obszaru, skuteczniejszego dochodzenia od właścicieli pojazdów obowiązkowych ubezpieczeń od odpowiedzialności cywilnej oraz wprowadzenia systemu nadzoru nad wewnątrzspółnotowym nabyciem pojazdów.

W nawiązaniu do wskazań pokontrolnych NIK słuszne wydaje się kompleksowe podejście do tego problemu poprzez stworzenie krajowego systemu recyklingu pojazdów. Recykling ten jest zagadnieniem interdyscyplinarnym, gdyż dotyczy problemów technicznych, środowiskowych i organizacyjnych. Powiększająca się rokrocznie liczba starzejącego się parku samochodowego i wzrastająca świadomość ekologiczna społeczeństwa stwarza możliwość zlikwidowania szarej strefy demontażu pojazdów i powstania sieci zakładów ich recyklingu. Zakłady recyklingu powinny być równomiernie zlokalizowane na całym obszarze kraju, aby dostęp do nich był łatwy (Nader i Jakowlewa 2009).

Podsumowanie

Obecnie, wobec problemu wzrastającej ilości odpadów, proces ich recyklingu i utylizacji, a także wykorzystanie surowców wtórnych są kluczowymi elementami mającymi wpływ na zmniejszenie całkowitej ilości wytwarzanych odpadów. Głównym celem jest odzyskanie surowców wtórnych i ponowne ich przetwarzanie. Recykling jest więc procesem nie tylko wykorzystującym surowce wtórne, ale systemem pełnej organizacji obiegu takich materiałów/

/surowców, które mogą być wielokrotnie przetwarzane (Górnjak-Bodziany i Bodziany 2008). Podstawą recyklingu jest znalezienie mechanizmów i technologii pozwalających przeciwdziałać degradacji środowiska dzięki ochronie m.in. zasobów kopalin mineralnych i racjonalnemu nimi gospodarowaniu.

Z przeprowadzonych analiz recyklingu ZSEE, zużytych baterii i akumulatorów oraz pojazdów wycofanych z eksploatacji wynika, że jest to ogromne źródło odzysku ważnych dla rozwoju nowoczesnych technologii i innowacyjnych produktów surowców m.in. mineralnych.

Wiele jednak jest jeszcze do zrobienia, aby system zbierania i przetwarzania działał sprawnie, a odzyskane surowce zastępowały surowce pierwotne, przedłużając czas korzystania z nich.

Niezbędne do stworzenia sprawnie działającego systemu są uregulowania prawne oraz uszczelnienie rynku obrotu odzyskanymi surowcami. Powinny one bowiem zapewniać przede wszystkim wystarczalność przemysłowi krajowemu, tak ilościowo, jak i czasowo.

Publikacja została zrealizowana jako część opracowania dla Ministerstwa Gospodarki dotyczącego przygotowania analizy: Identyfikacja surowców kluczowych dla polskiej gospodarki.

Literatura

- Baic, M. red. 2011. Zużyty sprzęt elektryczny i elektroniczny. Aspekty funkcjonowania systemu zagospodarowywania ZSEE w Polsce i innych krajach europejskich oraz wybrane technologie przetwarzania odpadów elektrycznych i elektronicznych. [Online] Dostępne w: <http://www.weeezo.pl/images/Monografia-WEEEZO-PL.pdf> [Dostęp: 20.02.2016].
- Bystroń, M. i Gradowski, M., 2013. Gospodarka recyklingowa akumulatorów kwasowo-ołowiowych. Stow. Prod. i Import. Akum. i Baterii w Polsce. [Online] Dostępne w: www.spiab.pl/download/file/fid/67 [Dostęp: 20.02.2016].
- Gola-Sienkiewicz, R., 2008. Recykling odpadów – demontaż pojazdów samochodowych. Recykling. [Online] Dostępne w: <http://opkp.pl/blog/2015/04/odzysk-surowcow-zlomowany-samochod> [Dostęp: 20.02.2016].
- Gospodarka materiałowa GUS 2006, 2008, 2014.
- Górnjak-Bodziany, A. i Bodziany, M. 2008. Ekologistyka – wyzwanie czy warunek konieczny funkcjonowania SZRP. *Zeszyty Naukowe WSWOL* nr 1 (147), s. 243–253.
- Industry as a Partner for Sustainable Development, Automotive Report, ACEA, JAMA and AAA – Raport opublikowany w Wielkiej Brytanii w 2002 r.
- Jakubiak, M. i Grzesik, K. 2014. Recykling pojazdów wycofanych z eksploatacji. Przepisy, technologia i praktyka. *Logistyka* 4, s. 4339–4347.
- Klugmann-Radziemska, E. 2015. Innowacyjna metoda odzysku krzemu z baterii słonecznych. [Online] Dostępne w: <http://csr.forbes.pl/innowacyjna-metoda-odzysku-krzemu-z-baterii-slonecznych,artykuly,191284,1,1.html> [Dostęp: 20.02.2016].
- Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów, KOM (2014) 398, *Ku gospodarce o obiegu zamkniętym: program „zero odpadów” dla Europy*, Bruksela, 02.07.2014 r.
- Korkozowicz, M. 2010. Co dalej z recyklingiem baterii? *Odpady i Środowisko* 5, s. 63–69.
- Kozłowski i in. 2002 – Kozłowski, J., Czyżyk, H. i Mazurek, T. 2002. Demontaż i przerób wraz z analizą składu wybranych urządzeń złomu elektronicznego zawierających metale nieżelazne i szlachetne. II Konf. Kraj. Nauk-Techn. „Ekologia w elektronice” Przem. Inst. Elektr. Warszawa.
- Kubiak, T. 2008. Działania zintegrowane jako element ograniczenia negatywnego wpływu na środowisko procesu recyklingu samochodów. *Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej, Maszyny robocze i transport* 63, s. 71–90.
- Małuszyńska i in. 2012 – Małuszyńska, I., Bielecki, B., Wiktorowicz, A. i Małuszyński, M.J. 2012. Recykling materiałowy i surowcowy odpadów samochodowych. *Inżynieria Ekologiczna* 28, s. 111–118.

- Marek, A. i Tarabała-Fiertak, M. Recykling baterii i akumulatorów. Akademia Odpadowa. [Online] Dostępne w: <http://www.akademiaodpadowa.pl/599,a,19-recykling-baterii-i-akumulatorow.htm> [Dostęp: 20.02.2016].
- Merkisz-Guranowska, A. 2007. *Recykling samochodów w Polsce*. Wyd. Inst. Technologii Eksploatacji. Poznań–Radom, s. 180.
- Moćko, W. i Szmidt, E. 2012. Recovery Technologies of Co and Li from spent lithium-ion cells. *Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska* 14, 4, s. 1–10.
- Nader, M. i Jakowlewa, I. 2009. Wybrane zagadnienia organizacji zakładu recyklingu samochodów osobowych. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport* 70, s. 127–138.
- Nowacki, M. i Mroziński, A. 2012. Przykłady procesów recyklingu baterii w Polsce. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna* 5, s. 239–241.
- Raport o funkcjonowaniu systemu gospodarki ZSEE GIOŚ – 2009, 2015.*
- Recykling pojazdów wycofanych z eksploatacji – Raport NIK 2013* (LWA-4101-20-00/2012 Nr ewid. 51/2013/P/12/180/LWA)
- Rejestr GIOŚ 2015 r. [Online] Dostępne w: http://rzseie.gios.gov.pl/szukaj_rzseie.php [Dostęp: 20.02.2016].
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2014 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. poz. 1923)
- Shin i in. 2005 – Shin, S.M., Kim, N.H., Sohn, J.S., Yang, D.H. i Kim, Y.H., 2005. Development of a metal recovery process from Li-ion battery wastes. *Hydrometallurgy* 79, s.172–181.
- Ustawa o odpadach z dnia 14 grudnia 2012 r. (Dz.U. 2013 poz. 21 z późn. zm.).
- Ustawa z dnia 20 stycznia 2005 r. o recyklingu pojazdów wycofanych z eksploatacji (Dz.U.2005. Nr 25. poz. 202 z późn. zm.).
- Ustawa z 11 września 2015 r. o zużytych sprzęcie elektrycznym i elektronicznym (Dz.U.2015. poz. 1688).
- Wilczyński, M. 2015. *Węgiel. Już po zmierzchu...* red. Bielewicz A. z zespołem. European Climate Foundation, s. 97.
- Woynarowska, A. i Żukowski, W. 2012. Współczesne metody recyklingu odpadów elektronicznych. *Czasopismo Techniczne. Chemia* z. 16. Kraków: Wyd. PK.

Źródła internetowe:

- <http://bateko.com.pl/o-nas>
- <http://www.recupyl.pl/files/Ulotka%20PL.pdf>
- <http://www.recupyl.pl/files/POLITYKA%20JAKOSCI.pdf>
- <http://www.recupyl.pl/files/Recupyl%20Polska%20Sp.%20z%20o.o.%20PL.pdf>
- <https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/eip-raw-materials/en/content/european-innovation-partnership-eip-raw-materials>

