

Kopalnia Miejska: Profesjonalny Przewodnik po Odzysku Cennych Metali z Elektroniki

Identyfikacja, kwantyfikacja i ekstrakcja metali
szlachetnych, ziem rzadkich i krytycznych.



Globalny Potencjał: Odpady Elektroniczne jako Zasób Strategiczny

Każdego roku świat generuje ponad 61 miliardów kilogramów e-odpadów. Mniej niż 23% jest oficjalnie zbierane i poddawane recyklingowi. Wewnątrz tej ogromnej masy kryją się metale o wartości **miliardów dolarów**, czekające na odzyskanie.

WARTOŚĆ SUROWCÓW

91 miliardów dolarów

Szacowana wartość surowców w globalnych e-odpadach z 2022 roku.

METALE KRYTYCZNE

Globalny wskaźnik recyklingu: 1%

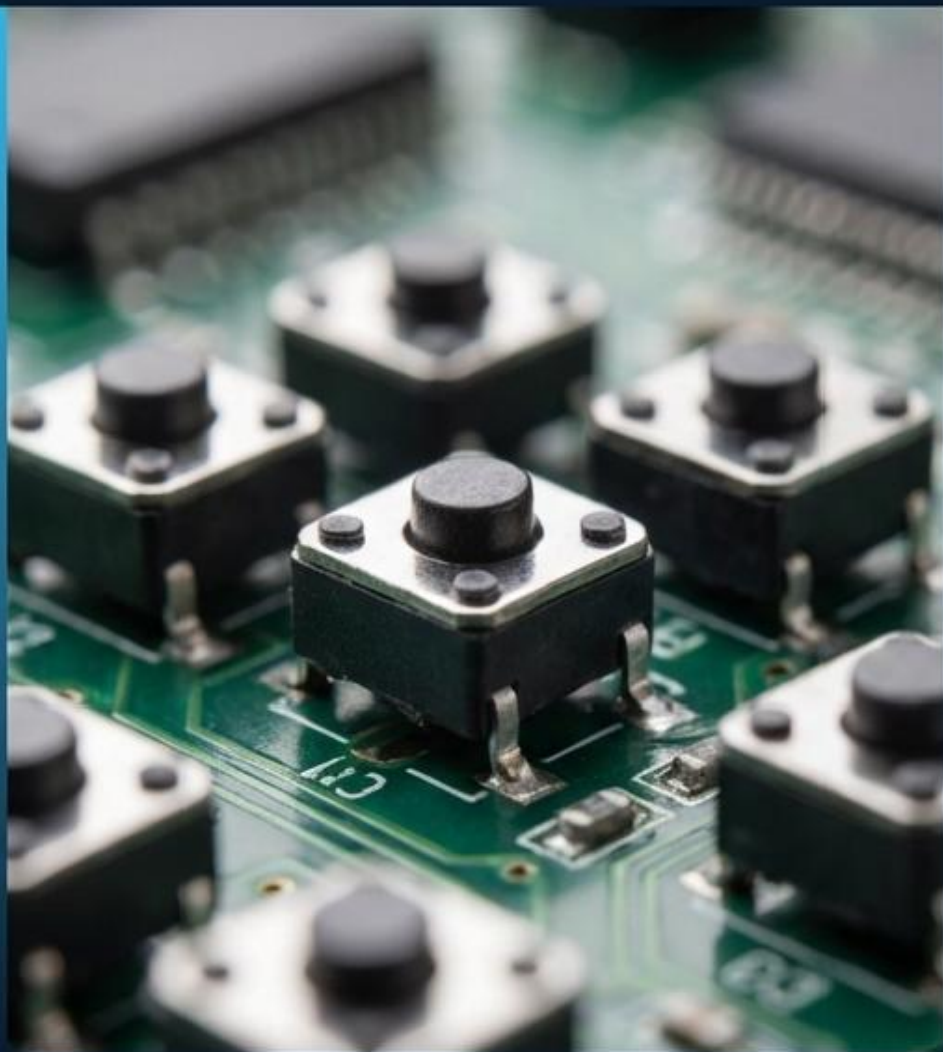
E-odpady zawierają kluczowe surowce, w tym pierwiastki ziem rzadkich.

UNIKNIĘTA EMISJA

52 miliardy kg CO₂

Prawidłowy recykling pozwolił uniknąć emisji ekwiwalentu CO₂, podkreślając korzyści dla środowiska.

Srebro (Ag): Wszechobecny i Wartościowy Cel



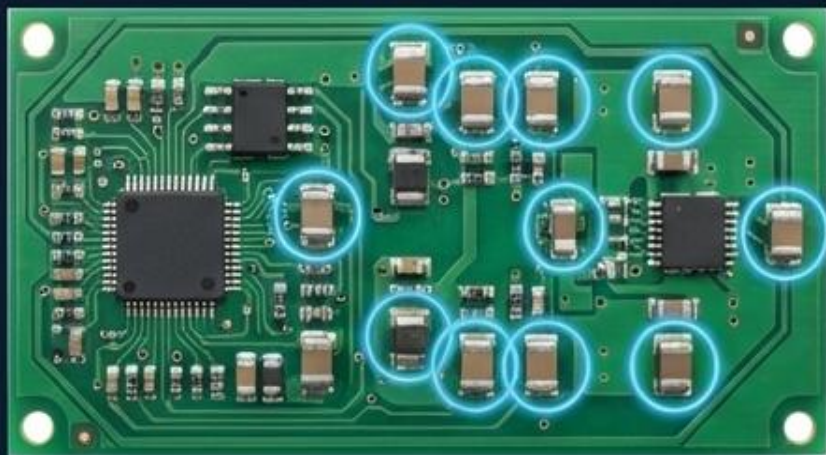
Srebro jest jednym z najczęściej spotykanych metali szlachetnych w elektronice, kluczowym celem ze względu na jego szerokie zastosowanie i wartość.

Główne źródła odzysku:

- **Styki w przełącznikach:** Złota zasada: "Jeśli ma przełącznik, ma srebrny styk". Przełączniki taktyczne i inne są bogate w srebro. Starsze modele mogą zawierać więcej srebra.
- **Rezystory SMD (Surface Mounted Device):** Krawędzie tych małych ceramicznych komponentów są pokryte srebrem. Chociaż ich zbieranie jest pracochłonne, dają dobry uzysk srebra.
- **Oscylatory kwarcowe:** Wewnątrz stalowej obudowy znajduje się mały srebrny dysk. Niektóre mają również połączone podstawy, oferując podwójną korzyść.
- **Końcówki bezpieczników:** Mosiężne końcówki bezpieczników są często posrebrzane.



Pallad (Pd) i Srebro (Ag) w Kondensatorach MLCC



Wielowarstwowe kondensatory ceramiczne (MLCC) są "komponentami docelowymi" ze względu na znaczną koncentrację palladu i srebra.

Identyfikacja: Małe, często brązowe lub beżowe komponenty, na płytkach drukowanych często oznaczone literą "C". Starsze, niemagnetyczne MLCC zazwyczaj zawierają wyższe stężenie metali szlachetnych.

Skład i Wartość (dane z badań sprzętu oświetleniowego):

- Zawartość metali szlachetnych: **0.60% wag.**
- Pallad (Pd): **0.105% wag.**, Srebro (Ag): **0.467% wag.**
- Wartość skumulowana: Około **67 EUR na kg** kondensatorów MLCC.



Szczegółowa Analiza Metali Szlachetnych w MLCC

Tabela: Zawartość Metali Szlachetnych (% wag.) w MLCC

Metal	Sprzęt oświetleniowy (Badanie bieżące)	Komputery (Ref. [53])	Komponenty niemagnetyczne (Ref. [45])	Komputery osobiste (Ref. [40])
Au	0.001	<0.0001	-	-
Pd	0.105	1.69	0.5-3	0.14
Ag	0.467	-	-	1.08
Ru	0.021	-	-	-
Ir	0.004	-	-	-



Kluczowe wnioski:

- Stężenie palladu jest bardzo zmienne, ale zawsze znaczące.
- Starsze komponenty (np. z komputerów) często wykazują wyższe stężenie Pd.
- Nawet metale z grupy platynowców, takie jak ruten (Ru) i iryd (Ir).
- Nawet metale z grupy platynowców, takie jak ruten (Ru) i iryd (Ir), występują w śladowych, ale cennych ilościach.

Magnesy NdFeB: Potęga Neodymu, Prazeodymu i Dysprozu



Metale ziem rzadkich (REE) są kluczowe dla nowoczesnych technologii, a ich łańcuchy dostaw są silnie skoncentrowane. Elektronika jest jednym z ich najbogatszych źródeł wtórnych.

Główne źródło: Magnesy neodymowo-żelazowo-borowe (NdFeB) znajdujące się w:

- Telefonach komórkowych (głośniki, mechanizmy wibracyjne, aparaty)
- Dyskach twardych (HDD)
- Małych silnikach (np. z suszarek do włosów)

Typowy skład magnesów z telefonów komórkowych



Trend: W nowszych urządzeniach rośnie zawartość Nd i Pr, a maleje zawartość droższego dysprozu (Dy) dzięki nowym technologiom produkcji.

Niespodziewane Źródło REE: Kondensatory MLCC

Oprócz magnezów, kondensatory MLCC są znaczącym, choć często pomijanym, źródłem metali ziem rzadkich, używanych jako domieszki w materiałach dielektrycznych.

Całkowita zawartość REE w MLCC (ze sprzętu oświetleniowego): **0.84% wag.**

Główne pierwiastki i ich zawartość wagowa:

- Neodym (Nd): **0.366%**
- Itr (Y): **0.220%**
- Dysproz (Dy): **0.131%**

Pierwiastki śladowe: Cer (Ce), Lantan (La), Samar (Sm), Gadolin (Gd), Erb (Er) i inne również są obecne, choć w mniejszych ilościach.

Rozkład głównych REE w MLCC

Pozostałe REE śladowe

Dysproz (Dy):
0.131%

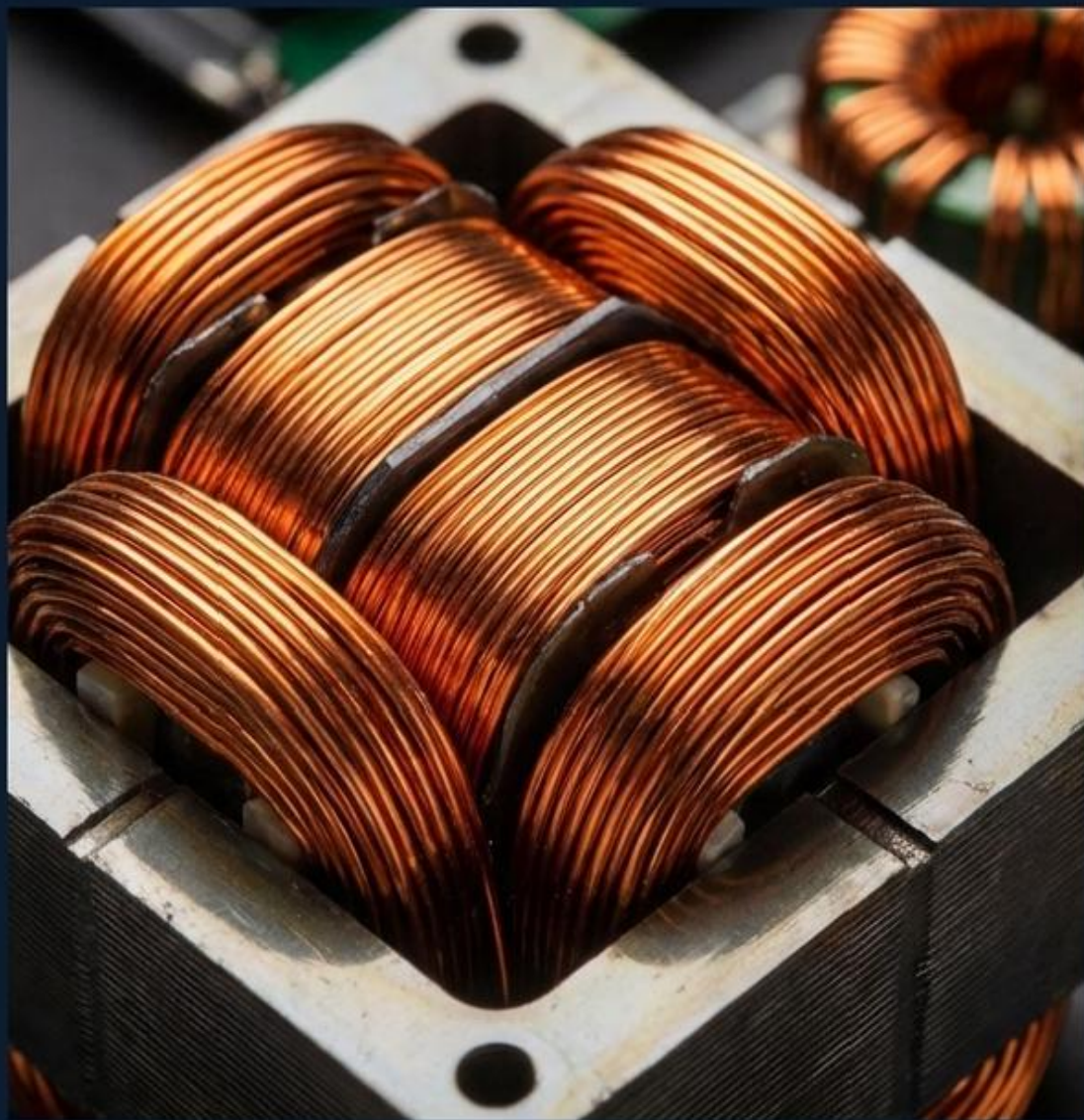
Itr (Y):
0.220%

Neodym (Nd):
0.366%

0.84%

Wniosek: Demontaż MLCC pozwala na jednoczesny odzysk zarówno metali szlachetnych, jak i strategicznych metali ziem rzadkich.

Miedź (Cu): Fundament Rentowności w Mikrokrappingu



Miedź jest najłatwiejszym do spieniężenia metalem dla recyklera. Występuje powszechnie i w dużych ilościach, stanowiąc stabilne źródło dochodu.

Główne źródła odzysku:

- **Transformatory i cewki (induktory):** Znajdujące się na zasilaczach i płytach głównych, zawierają czystą, łatwą do odzyskania miedź. Cewki są szczególnie cenione, ponieważ miedź można łatwo odwinąć.
- **Silniki prądu stałego (DC):** Małe silniki, np. z suszarek, wentylatorów, zawierają znaczne ilości uzwojeń miedzianych.
- **Przewody i kable:** Oczywiste źródło, ale wymaga oddzielenia od izolacji.
- **Radiatory:** Niektóre radiatory, zwłaszcza w wysokowydajnych urządzeniach, są wykonane z miedzi, a nie z aluminium.



Mosiądz i Aluminium: Ilość Tworzy Wartość

Mosiądz (stop miedzi i cynku)



Źródła: Powszechnie występuje w złączach, pinach we wtyczkach (szczególnie wtyczkach brytyjskich), śrubach (należy sprawdzić magnesem, czy nie są stalowe) i końcówkach bezpieczników.

Klasyfikacja: Może być sprzedawany jako 'brudny mosiądz' (z przyklejonymi innymi materiałami) lub 'czysty mosiądz' po oczyszczeniu, co zwiększa jego wartość. Niektóre piny są niklowane, ale pod spodem nadal znajduje się mosiądz.

Aluminium



Źródła: Głównie radiatory (heatsinks) chłodzące chipy (np. BGA), tranzystory i mosfety na płytach głównych i zasilaczach. Obudowy kondensatorów aluminiowych, choć ich odzysk z małych jednostek jest nieoptymalny.

Wskazówka: Radiatory są wszechobecne, zwłaszcza na płytach z telewizorów i zasilaczach.

Tantal (Ta): Odzysk Rzadkiego i Cennego Metalu Krytycznego

Tantal jest metalem rzadkim i bardzo wartościowym, co czyni jego odzysk niezwykle opłacalnym.

- **Źródło:** Kondensatory tantalowe.
- **Identyfikacja wizualna:**
 - **Klasyczne:** Małe, żółte 'pudełeczka' z tworzywa sztucznego. W przeszłości były bardziej powszechne.
 - **Nowoczesne:** Czarne komponenty z charakterystycznym krzyżykiem lub oznaczeniem polaryzacji.
 - Występują również inne formy, dlatego ważna jest umiejętność ich rozpoznawania.
- **Lokalizacja:** Znajdują się na różnych typach płytek drukowanych, często w sekcjach zasilania lub przetwarzania sygnału.



Mapa Skarbów: Kluczowe Komponenty i Ich Zawartość

Komponent (Wizualizacja)	Metale Głównie	Metale Śladowe/Dodatkowe	Wskazówki
	Pallad (Pd), Srebro (Ag)	Neodym (Nd), Dysproz (Dy), Itr (Y)	Szukaj starszych, niemagnetycznych. Wartość ~67 EUR/kg.
	Srebro (Ag)	-	Każdy przełącznik to potencjalne źródło srebra.
	Neodym (Nd), Prazeodym (Pr)	Dysproz (Dy)	Zawartość REE ~28.8% wag.
	Miedź (Cu)	-	Łatwe do demontażu i odzysku czystej miedzi.
	Tantal (Ta)	-	Rozpoznawaj różne kształty (żółte, czarne z krzyżykiem).
	Aluminium (Al)	Miedź (Cu)	Powszechne na zasilaczach i płytach głównych.
	Mosiądz	Złoto (Au), Srebro (Ag)	Złącza często są pozłacane lub posrebrzane.

Przyszłość Odzysku: Rosnący Strumień i Nowe Możliwości

Transformacja energetyczna i cyfryzacja napędzają stały wzrost ilości e-odpadów, czyniąc 'miejską kopalnię' coraz bogatszą.

Nowe Horyzonty:



Panele Fotowoltaiczne: Odpady z paneli PV wzrosną czterokrotnie do 2030 roku (z 0.6 do 2.4 miliarda kg), stając się nowym, masowym źródłem metali, w tym srebra i krzemu.



Urządzenia do Vapingu: Szacuje się, że w 2022 roku sprzedano ponad 844 milionów e-papierosów. Każdy z nich zawiera baterię litowo-jonową i płytkę drukowaną. To szybko rosnący, skoncentrowany strumień odpadów.

Wniosek strategiczny: Inwestycja w zaawansowane technologie sortowania i odzysku jest kluczowa, aby skutecznie eksploatować te rosnące i coraz bardziej zróżnicowane strumienie odpadów. Przyszłość należy do tych, którzy potrafią dostrzec wartość tam, gdzie inni widzą tylko odpady.