



## **Analiza możliwości pozyskiwania krytycznych surowców mineralnych**

*Wiesław Blaschke, Beata Witkowska-Kita, Katarzyna Biel*  
*Centrum Gospodarki Odpadami i Zarządzania Środowiskowego*  
*w Katowicach Oddziału Instytutu Mechanizacji Budownictwa*  
*i Górnictwa Skalnego w Warszawie*

### **1. Wstęp**

W 2008 r. Komitet ds. Kopaliny Krytycznych dla Gospodarki Stanów Zjednoczonych przedstawił definicję surowców krytycznych, która została również przyjęta przez kraje Unii Europejskiej. Wg tej definicji surowce krytyczne to „kopaliny/surowce narażone na ryzyko zachwiania lub przerwania płynności podaży i dostaw, dla których deficyt ten może mieć poważne skutki ekonomiczne dla całej gospodarki”.

Pierwszy kompleksowy raport i wstępna lista tych surowców została opublikowana w 2010 r. w opracowaniu pt.: „Critical raw materials for the EU – Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials. EU Commission Enterprise and Industry” [8].

W dokumencie tym przeprowadzono m. in. analizę krytyczności, opierając się na trzech grupach kryteriów, tj.:

- gospodarczo-ekonomiczne skutki ograniczenia podaży,
- ryzyko ograniczenia (zachwiania lub przerwania) podaży,
- „ryzyko środowiskowe”, związane z ograniczeniami możliwości produkcji w poszczególnych krajach, wynikające z wymogów prawnych w zakresie ochrony środowiska naturalnego (utrzymanie standardów jakości środowiska, minimalizacja zagrożeń).

Ocenę tę przeprowadzono dla 41 wytypowanych surowców mineralnych, uwzględniając 10-letni horyzont czasowy, czyli:

- metalicznych: aluminium, antymon, beryl, chrom, cynk, gal, german, ind, kobalt, lit, magnez metaliczny, mangan, molibden, nikiel, niob, pierwiastki ziem rzadkich, platynowce, ren, rudy miedzi, rudy żelaza, srebro, tantal, tellur, tytan, wanad, wolfram,
- niemetalicznych: baryt, bentonit, boksyty, borany, diatomit, fluoryt, gips, gliny ceramiczne wraz z kaolinem, grafit, magnezyt, perlit, piaski kwarcowe, surowce skaleniowe, talk, wapienie.

Według Raportu Zespołu popyt na te minerały i metale będzie rósł ze względu na wzrost gospodarczy krajów rozwijających się, a także pojawienie się nowych innowacyjnych technologii. Surowce te wykorzystywane są na przykład do produkcji: kolektorów słonecznych, samochodów elektrycznych, telefonów komórkowych, produkcji telewizorów LCD itd.

W wyniku przeprowadzonej analizy podzielono surowce wstępnie na trzy grupy o różnym stopniu krytyczności. Za najbardziej krytyczne, dla gospodarki Unii Europejskiej, uznano 14 surowców o ważnym znaczeniu ekonomicznym, tj.: antymon, beryl, kobalt, fluoryt, gal, german, grafit, ind, magnez metaliczny, niob, platynowce, pierwiastki ziem rzadkich, tantal i wolfram), charakteryzujące się przede wszystkim wysokim ryzykiem niedoboru lub braku podaży, które wynikają z ograniczonej ilości źródeł ich pozyskiwania i podaży. Większość spośród zaliczonych do tej grupy surowców jest niezbędna dla rozwoju nowych technologii [8,14,15].

Przedstawiona lista surowców krytycznych jest propozycją, która może ulec modyfikacji w wyniku dalszych prac Grupy ds. Podaży Surowców Mineralnych.

Pozostałe spośród 41 analizowanych surowców wykazują w mniejszym stopniu znamiona niedoboru lub deficytu podaży.

Grupa ds. Podaży Surowców Mineralnych, w dalszych swych pracach przyjmie dłuższą perspektywę czasową, rzędu 20 lat, obejmującą pełny cykl inwestycyjny, od poszukiwania złoża, poprzez jego rozpoznanie do udostępnienia i uzyskania pierwszej produkcji surowca. Ponadto zasób surowców krytycznych w krajach europejskich zmniejsza się. Przez wiele lat zaprzestano poszukiwania nowych złóż i dodatkowo ma-

leje możliwość dostępności terenu, związana z rozwojem budownictwa oraz wymaganiami ochrony przyrody i krajobrazu. Wysokie ryzyko niedoboru lub braku podaży surowców krytycznych wynika również z ograniczonej ilości źródeł ich pochodzenia i podaży, zdominowanej przez:

- Chiny – pierwszego światowego producenta: antymonu, berylu, fluorytu, pierwiastków ziem rzadkich, galu, germanu, indu, magnezu metalicznego, grafitu,
- Rosję – tradycyjnego światowego lidera w produkcji platynowców,
- Brazylię – głównego producenta i dostawcę niobu i tantalu,
- Kongo – wiodącego światowego dostawcę surowców kobaltu [7,13,14].

Kompleksowa ocena potencjału surowcowego krajów Unii Europejskiej oraz identyfikacja tzw. surowców krytycznych, (niezbędnych dla jej harmonijnego i zrównoważonego rozwoju gospodarczego oraz postępu technologicznego) jest jednym z priorytetów polityki surowcowej Unii Europejskiej [14,15].

## **2. Technologie pozyskiwania surowców krytycznych**

W wyniku analizy technologii, sporządzonej na podstawie dostępnej literatury [1,4–6,11–13], stwierdzono, że najbardziej powszechną metodą pozyskiwania surowców krytycznych jest przeróbka polimetalicznych rud, które są nośnikami wielu metali. Proces przeróbki rud znalazł zastosowanie w odniesieniu do następujących surowców: beryl, kobalt, wolfram oraz fluoryt.

Rudy poddaje się przeróbce w celu: polepszenia składu chemicznego, a także ujednoczenia koncentratów pod względem właściwości chemicznych oraz fizyko-chemicznych.

Ponieważ wydobywane rudy najczęściej nie nadają się do bezpośredniego wykorzystania, istotnym procesem jest wielostopniowe wzbogacanie rud. Wzbogacanie rud metali podzielić można na: wzbogacanie mechaniczne oraz chemiczne.

W tabeli 1 przedstawiono zestawienie technologii chemicznej przeróbki i wzbogacania surowców krytycznych.

**Tabela 1.** Zestawienie technologii chemicznej przeróbki i wzbogacania surowców krytycznych

[źródło: opracowanie własne na podstawie [1,4–6,11–13]]

**Table 1.** Summary of chemical processing technology and enrichment of critical raw materials [source: own calculations based on [1,4–6,11–13]]

Surowiec	Technologia
beryl	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Flotacja kolektywna rud berylu w środowisku kwaśnym,</li> <li>– flotacja selektywna rud berylu w środowisku kwaśnym.</li> </ul>
kobalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Flotacja selektywna rud Cu-Co,</li> <li>– flotacja kolektywno-selektywna rud Cu-Co,</li> <li>– flotacja kolektywno-selektywna rud Cu-Co-Fe,</li> <li>– wzbogacanie mieszanych siarczkowych i utlenionych rud Cu-Co,</li> <li>– wzbogacanie rud polimetalicznych,</li> <li>– wzbogacanie rud As-Co-Ni-Bi,</li> <li>– wzbogacanie rud As-Co-Ag.</li> </ul>
wolfram	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Stadialne rozdrabnianie i wzbogacanie grubowpryśniętej rudy hübnerytowej i średniowpryśniętej rudy scheelitowej,</li> <li>– wzbogacanie rud wolframu w cieczach ciężkich,</li> <li>– wzbogacanie rud wolframu w osadzarkach,</li> <li>– wzbogacanie rud wolframu na stołach koncentracyjnych,</li> <li>– wzbogacanie grawitacyjne rud wolframu z zastosowaniem wzbogacalników zwojowych,</li> <li>– wzbogacanie grawitacyjne rud wolframu z zastosowaniem automatycznych stołów koncentracyjnych i flotograwitacji,</li> <li>– flotacja szlamów rudy hübnerytowej,</li> <li>– wzbogacanie flotograwitacyjne koncentratu siarczkowo-kasyterytowo-scheelitowego.</li> </ul>
fluoryt	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Przeróbka kwarcowych rud fluorytowych,</li> <li>– przeróbka kwarcowych rud fluorytu zawierających galenę,</li> <li>– przeróbka grubo wpryśniętych węglanowych rud fluorytu zawierających galenę i sfaleryt,</li> <li>– przeróbka drobno wpryśniętych węglanowych rud fluorytu zawierających galenę i sfaleryt,</li> <li>– przeróbka rud barytowo-fluorytowych.</li> </ul>

Surowiec	Technologia
magnez	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Elektrolityczna produkcja magnezu metalicznego,</li> <li>– produkcja magnezu metodą elektrolizy,</li> <li>– proces kalcynowania zawieszinowo-gazowego dolomitu i magnezytu jako proces obróbki wstępnej przy produkcji magnezu metalicznego,</li> <li>– produkcja magnezu pierwotnego z zastosowaniem procesu odwadniania.</li> </ul>
antymon	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Metoda hydrometalurgicznego wydzielania złota i antymonu (ługowanie alkalicznego siarczku),</li> <li>– technologia przetwarzania koncentratów złotońskiego siarczku antymonu.</li> </ul>
german	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Technologia otrzymywania metalicznego germanu,</li> <li>– technologia otrzymywania germanu metodą topienia sferycznego.</li> </ul>
gal	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Otrzymywanie galu na drodze elektrolizy lub redukcji tlenku galu(III).</li> </ul>
ind	<ul style="list-style-type: none"> <li>– W procesie flotacji siarczkowych rud cynku i ołowiu ind przechodzi do koncentratu, następnie koncentrat przerabia się pirometalurgicznie. W otrzymanym pyłe znajduje się ind, do 70% cynku i 20% ołowiu (w postaci związków),</li> <li>– proces wydzielania indu z pyłów – prażenie sulfatyzujące i ługowanie spieku wodą,</li> <li>– pozostałe technologie chemicznej przeróbki i wzbogacania indu tj.: wymiana jonowa, ekstrakcja mieszaniną kwasów alkilofosforowych, elektroliza chlorku lub siarczanu(VI) indu(III), redukcja tlenku indu(III) wodorem lub cementacja za pomocą cynku lub glinu, rafinowanie.</li> </ul>
niob i tantal	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Przeróbka koncentratów niobowo-tantalowych (spiekanie z sodą albo z wodorotlenkiem sodu oraz spiekanie z potażem lub z wodorotlenkiem potasu),</li> <li>– metody rozdziału niobu od tantalu: frakcjonowana krystalizacja związków kompleksowych, takich jak <math>K_2TaF_7</math> i <math>K_2NbOF_5 \cdot H_2O</math>, frakcjonowana destylacja chlorków albo fluorków, selektywna ekstrakcja fluorków niobu i tantalu trójbenzyloaminą albo kupferonem w chloroformie, selektywna redukcja chlorków niobu i tantalu za pomocą wodoru, selektywna wymiana na wymienniczkach jonowych.</li> </ul>

Surowiec	Technologia
platynowce	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Metoda hydrometalurgiczna przerabiania koncentratu lub szlamu z elektrolizy niklu,</li> <li>– przeróbka koncentratu, uzyskiwanego jako szlam anodowy przy elektrorefinacji surowego niklu otrzymanego z rud kanadyjskich.</li> </ul>
pierwiastki ziem rzadkich	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Otrzymywanie skandiu z odpadów powstających przy przeróbce wolframitów,</li> <li>– przeróbka koncentratu monacytowego metodą kwaśną,</li> <li>– przeróbka koncentratu monacytowego metodą alkaliczną,</li> <li>– otrzymywanie lantanowców z fosfogipsów,</li> <li>– otrzymywanie lantanowców z luminoforów.</li> </ul>

### 3. Występowanie, produkcja i zapotrzebowanie na surowce krytyczne

Na podstawie analizy literaturowej poniżej przedstawiono informacje dotyczące źródła występowania, produkcji oraz zapotrzebowania krajowego na surowce krytyczne [2,3,7,10].

#### 3.1. Beryl

- *źródła występowania* – na Dolnym Śląsku (głównie w pegmatytach i granitach). Podwyższone zawartości berylu stwierdzono w popiołach z węgla kamiennych GZW (97 tys. Mg berylu),
- *produkcja* – w Polsce nie pozyskuje się rud berylu oraz nie produkuje się berylu metalicznego lub jego związków oraz stopów,
- *zapotrzebowanie krajowe* – pokrywane było do 2003 r. importem znacznych ilości berylu (2,2 Mg0 w postaci metalu i proszku, głównie z Chin i krajów Unii Europejskiej. Dane o obrotach surowcami berylu w latach 2008-2009 obroty nie były wykazywane w statystykach GUS. Obecnie importowane są zmienne ilości wyrobów z berylu (USA, Kazachstan i kraje Unii Europejskiej).

#### 3.2. Kobalt

- *źródła występowania* – złoża rud kobaltu nie występują samodzielnie. Jego obecność stwierdzono w złożach rud miedzi na Monoklinie Przedsudeckiej (zasoby szacunkowe 120,6 tys. Mg kobaltu, w tym

w złożach eksploatowanych 96,1 tys. Mg oraz w pokładach węgla kamiennego w GZW (zasoby szacunkowe 400 tys. Mg). Średnią zawartość kobaltu w złożu rud miedzi szacuje się na ok. 60 ppm. Najwyższe koncentracje tego pierwiastka występują w rudzie łupkowej (śr. 460 ppm, maksymalnie do 3300 ppm kobaltu) oraz stropowej partii rudy piaskowej złoża Lubin - Małomice (śr. 350 ppm). Potencjalnym źródłem odzysku kobaltu w postaci proszku są odpady po przeróbce złomu kobaltonośnych stopów, stali szlachetnych oraz narzędzi do skrawania wykonanych z węglików spiekanych,

- *produkcja* – W 2009 r., wraz z urobkiem rud miedzi w kopalniach KGHM „Polska Miedź” S.A., wydobyto 1750 Mg kobaltu. Największe ilości tego metalu zawierała ruda eksploatowana w kopalni Lubin–Małomice (82–250 g kobaltu na każdy Mg urobku). W procesie wzbogacania od 130 do 930 ppm kobaltu przechodzi do koncentratów miedzi. W toku ich przeróbki metalurgicznej około 80% kobaltu jest traczone w żuźlach konwertorowych, które zawierają 1–2% kobaltu,
- *zapotrzebowanie krajowe* –w całości pokrywane jest importem jego surowców. Saldo obrotów surowcami kobaltu w Polsce jest ujemne.

### 3.3. Wolfram

- *źródła występowania* – w 2008 r. udokumentowano złoża rud molibdenu z wolframem i miedzią typu porfirowego Myszków, którego zasoby wynoszą 550,8 mln Mg rudy zawierającej 238 tys. Mg wolframu. Złoża ma formę sztokwerku zawierającego okruszczenie siarczkowo-tlenkowe, związane z waryscyjskim magmatyzmem granitoidowym.
- *produkcja* – w Polsce nie wydobywa się rud wolframu oraz nie produkuje surowców wolframu,
- *zapotrzebowanie krajowe* –pokrywane jest w całości importem jego surowców.

### 3.4. Fluoryt

- *źródła występowania* – w Polsce nie rozpoznano złóż fluorytu o znaczeniu ekonomicznym. Jego występowanie udokumentowano natomiast w głębszych partiach złoża barytu Stanisławów. Zasoby, wg stanu na 31 grudnia 2009 r., określono na 542 tys. Mg,

- *produkcja* – fluoryt nigdy nie był w Polsce produkowany. Niewielkie ilości kryolitu syntetycznego ok. 1–2 tys. Mg/rok, są uzyskiwane w trakcie produkcji kwasu fosforowego(V) z fosforytów przez Zakłady Chemiczne „Siarkopol” Tarnobrzeg Sp. z o.o. Inne związki fluoru produkowane są przez krajowy przemysł chemiczny,
- *zapotrzebowanie krajowe* – w Polsce pokrywane jest importem, który ostatnio osiąga poziom 9,1–9,7 tys. Mg/rok. Na rynku krajowym dominują fluoryty metalurgiczne i ceramiczne (Meksyk), pozostałe fluoryty chemiczne pochodzą z Niemiec i Czech.

### **3.5. Magnez**

- *źródła występowania* – potencjalnym źródłem do produkcji magnezu metalicznego są złoża dolomitów – nie są one jednak obecnie wykorzystywane,
- *produkcja* – w Polsce produkcja magnezu metalicznego z dolomitów nie została podjęta, pomimo opracowania i wdrożenia w skali ćwierćtechnicznej w latach 50-tych w Zakładach Metalurgicznych „Trzebinia” metody pozyskiwania tlenku magnezu i magnezu,
- *zapotrzebowanie krajowe* – pokrywane jest w całości importem, którego poziom po wzroście w 2007 r. do poziomu 5,4 tys. Mg, w latach 2008 i 2009 został ograniczony o 30%. Import magnezu odbywa się głównie z Chin (50–85%), Austrii, Czech, Holandii, Niemiec oraz Węgier i Rosji.

### **3.6. Antymon**

- *źródła występowania* – w Polsce nie rozpoznano złóż rud antymonu a także innych rud antymonośnych,
- *produkcja* – w Polsce nie produkuje się półproduktów antymonu,
- *zapotrzebowanie krajowe* – pokrywane jest w całości importem głównie z Chin. W latach 2006–2007 import antymonu nieobrobionego wynosił ponad 140 Mg/rok, a w latach 2008–2009 spadł do poziomu ok. 60 Mg/rok. Natomiast w przypadku tlenków antymonu wynosił on w latach 2006–2007 ok. 1350 Mg/rok, by w następnych latach ustabilizować się na poziomie ok. 1000 Mg/rok.



### 3.7. Grafit

- *źródła występowania* – grafit tworzy nagromadzenia w postaci łupków grafitowych w okolicach Stronia Śląskiego. Natomiast wkładki skał grafitowych spotykane są koło Strzelina, Dzierżoniowa, Wałbrzycha i Bystrzycy Kłodzkiej. Grafit występuje w wielu różnych skałach metamorficznych (m.in. w łupkach krystalicznych Tatr Zachodnich),
- *produkcja* – z uwagi na niewielkie złoża grafitu, brak w Polsce wydobycia grafitu naturalnego. Szeroko natomiast stosowane są substytuty grafitu. Wyroby z węgla uszlachetnionych, produktów grafityzowanych i grafitu syntetycznego produkowane w Polsce głównie przez SGL Carbon Polska S.A. (Nowy Sącz i Racibórz). Zakład w Raciborzu, wytwarza szerokie spektrum wyrobów z grafitu i węgla, m.in. wyłożenia grafitowe do wielkich pieców, pieców elektrycznych i elektrolizerów glinu oraz katod grafitowych, natomiast zakład w Nowym Sączu specjalizuje się głównie w produkcji elektrod grafitowych. Elektrody węglowe oraz bloki katodowe trafiają do hut w Czechach, Słowacji, Niemczech, Norwegii i Turcji, podczas gdy grafity specjalne użytkowane są np. do produkcji baterii zasilających m.in. laptopy, a grafitowe ślizgi stosowane są w napędach lokomotyw i tramwajów. Produkcja grafitu syntetycznego wynosiła w 2005 r. ok. 50 tys. Mg, w 2008 ok. 66 tys. Mg, by spaść do poziomu ok. 53 tys. Mg w 2009 r. W latach 2007–2008 według danych GUS produkcja elektrod węglowych i pozostałych wyrobów z grafitu wynosiła ok. 70–80 tys. Mg, by spaść do poziomu 50 tys. Mg w 2009 r. z uwagi na kryzys w sektorze hutniczym,
- *zapotrzebowanie krajowe* – naturalny pokrywane jest w całości importem, którego poziom wahał się w ostatnich latach w przedziale 3–6 tys. Mg/rok.

### 3.8. German

- *źródła występowania* – german nie tworzy samodzielnych złóż. Występuje także w ilościach śladowych w rudach Zn-Pb złóż śląskokrakowskich. Potencjalne zasoby w złożach wynoszą 40 Mg. Nie są one jednak obecnie wykorzystywane,

- *produkcja* – pomimo pozyskiwania i przetwarzania w latach ubiegłych germanonośnych rud Zn-Pb nie podjęto produkcji germanu w Polsce,
- *zapotrzebowanie krajowe* – pokrywane jest w całości nieregularnym importem germanu (nieobrobionego, odpadów i złomu, proszków) oraz ciągłym importem tlenków germanu w ilości od 17–34 Mg/rok (Francja, Wielka Brytania, Holandia, Chiny, Kanada, USA i Japonia). Notowany jest również import zmiennych ilości wyrobów z germanu.

### **3.9. Gal**

- *źródła występowania* – potencjalne zasoby galu w nie zagospodarowanych dotychczas złożach rud cynkowo-ołowiowych śląsko-krakowskich zostały określone na ok. 120 Mg. Gal sporadycznie tworzy własne fazy mineralne, brak samodzielnych złóż. Znaczenie praktyczne mają domieszki galu jako składnika rozproszonego w złożach innych kopalin. Ponad 90% pierwotnego galu pozyskuje się w złożonych procesach elektrolitycznych, z tzw. czerwonych szlamów powstających w trakcie przerobu boksytów metodą Bayer’a na aluminię, a resztę otrzymuje się metodami chemicznymi z pyłów hutnictwa cynku,
- *produkcja* – pomimo pozyskiwania i przetwarzania w latach ubiegłych galonośnych rud cynkowo-ołowiowych nie podjęto produkcji galu w Polsce,
- *zapotrzebowanie krajowe* – pokrywane jest importem, głównie wyrobów elektronicznych i innych z jego udziałem. Import galu do 2007 r., w formie nie obrobionej, był sporadyczny, w 2008 r. wzrósł do 57 kg, a w 2009 spadł o połowę. Głównymi dostawcami są następujące kraje: Słowacja, Niemcy, USA, Francja, i Szwecja. W latach 2008–2009 był odnotowany reeksport do Białorusi.

### **3.10. Ind**

- *źródła występowania* – złoża rud cynkowo-ołowiowych śląsko-krakowskich nie są indonośne. Źródłem indu są rudy cynku, cyny, ołowiu, wolframu, żelaza oraz piryty. Ind najczęściej jest pozyskiwany sposobami hydrometalurgicznymi z wypazków po prażeniu siarczkowych rud cynku w postaci silnie zanieczyszczonego indu

czarnego. Wymaga to następnie oczyszczenia elektrochemicznego, destylacji próżniowej oraz rafinacji strefowej do indu metalicznego o czystości min. 99,97%,

- *produkcja* – ind w Polsce nie jest produkowany, podobnie jak surowce indonezyjskie,
- *zapotrzebowanie krajowe* – jest pokrywane regularnym importem. Głównymi dostawcami są: Stany Zjednoczone; inni dostawcy to: Chiny, Belgia, Niemcy, Szwajcaria, Japonia i Wielka Brytania.

### 3.11. Niob

- *źródła występowania* – brak jest złóż kopalin niobu i realnych perspektyw na ich odkrycie,
- *produkcja* – surowce niobu nie są produkowane w Polsce,
- *zapotrzebowanie krajowe* – obroty niobem i renelem są ujmowane w statystykach łącznie, jednak należy sądzić, że główna część obrotów przypada na niob. Najważniejszym surowcem niobu sprowadzonym do Polski jest żelazoniob. Wielkość importu jest zmienna i zależy od zapotrzebowania przemysłu stalowniczego.

### 3.12. Tantal

- *źródła występowania* – nie rozpoznano złóż kopalin tantalu i brak perspektyw na ich odkrycie. Podstawowymi źródłami tantalu są jego rudy oraz rudy tantalowo-niobowe, rudy niobu, rudy cyny, który wraz z niobem stanowi domieszkę, a także żużle tantalonośne hutnictwa cyny. Koncentraty tantalitowe (60% tlenku tantalu(V) i tlenku niobu(V)) wymagają skomplikowanej wstępnej obróbki chemicznej oraz metalurgicznej celem otrzymania metalicznego tantalu. Bezpośrednio uzyskuje się go z żużli tantalonośnych (zawierają 12–15% tlenku tantalu(V)) powstałych po przerobie hutniczym kasyterytu. Syntetyczny koncentrat tantalitu, zawiera 50% tlenku tantalu(V) i jest pozyskiwany z żużli odpadowych hutnictwa cyny,
- *produkcja* – odzysk tantalu z surowców wtórnych okresowo jest prowadzony w byłym zakładzie Unitra-Cemat w Skawinie. W 2006 r., największy producent tantalu – Australia, znacznie ograniczył produkcję, co doprowadziło do spadku wielkości produkcji o ponad 30%. Natomiast w latach 2007–2008 podaż światowa wzro-

sła niemal o 32%. Kryzys finansowy w 2009 r. doprowadził do 39% spadku produkcji światowej surowców tantalu,

- *zapotrzebowanie krajowe* – dostawy tantalu nieobrobionego i wyrobów z tantalu (sztaby, pręty, kształtowniki, druty, blachy, taśmy i folie) pochodziły z Niemiec i Austrii oraz z Chin, USA i krajów UE. Notuje się również reeksport odpadów, złomu i wyrobów z tantalu do Wielkiej Brytanii, Niemiec i Rosji.

### **3.13. Platynowce**

- *źródła występowania* – źródłem pierwotnym platynowców są złoża rud miedzi na Monoklinie Przedsudeckiej. Platyna i pallad występują przeważnie w spągu łupka miedzionośnego. Platynowce tworzą minerały własne, a także domieszki w minerałach złota i w związkach niemetalicznych. Źródłami wtórnymi są głównie siatki katalityczno-wychwytyjące, a także złom i odpady platynowców z innych zakładów produkujących wyroby z ich udziałem lub ich związki,
- *produkcja* – w cyklu technologicznym produkcji KGHM „Polska Miedź” S.A. platynowce występujące głównie w rudzie łupkowej przechodzą kolejno do koncentratów rud miedzi, miedzi anodowej oraz szlamów anodowych po rafinacji miedzi, które są w całości przetwarzane w HM Głogów. W stosowanej tu technologii Boliden Kaldo prowadzi się procesy: elektrorefinacja srebra, ługowanie i strącanie złota oraz wydzielenie selenu. Otrzymywany jest szlam platynowo-palladowy zawierający 22–36% Pt i 12–22% Pd. Produkcja tego szlamu w ostatnich latach ustabilizowała się na poziomie 90–100 kg/rok. Szlamy te sprzedawane są głównie do Mennicy Państwowej S.A. w Warszawie, gdzie następuje rafinacja platynowców. Mniejsze ilości są użytkowane także przez POCH SA. w Gliwicach. Sporadycznie część produkcji kierowana jest na eksport. Platyna odzyskiwana jest również z roztworów odpadowych Wydziału Metali Szlachetnych w Legnickim Oddziale Instytutu Metali Nieżelaznych, a produktem końcowym jest koncentrat platyny zawierający ok. 30% tego pierwiastka.

Platynowce rafinowane są wytwarzane głównie przez firmę Mennica-Metale Szlachetne Sp. z o.o. zarówno ze wspomnianych szlamów platynowo-palladowych, jak i ze złomów i odpadów platynowców (szczególnie siatki katalityczne i siatki katalityczno-

wychwytyjące z zakładów azotowych). Produkcja platyny ze szlamów szacowana jest na 25–30 kg/rok, a palladu na poziomie 15–20 kg/rok. Znacznie większa jest produkcja platyny, palladu, rodu i innych platynowców ze złomów. Łączna krajowa produkcja platynowców (surowych i proszków) wyniosła w 2007 r. 465 kg, w 2008 r. 381 kg, a w 2009 – 95 kg (dane za poprzednie lata nie są dostępne), w tym większość ze źródeł wtórnych,

- *zapotrzebowanie krajowe* – na najwyższym i stosunkowo stabilnym poziomie kilkuset-kilku tysięcy kilogramów na rok kształtują się obroty półproduktami platynowymi: sztabami, prętami i drutem platynowym. Obroty były bardzo zmienne, niekiedy przekraczając 100 kg/rok lub nawet 1000 kg/rok. Oficjalne obroty platynowcami, surowymi i ich półproduktami prowadzone są z krajami Europy Zachodniej i Środkowej oraz USA. Wobec znacznych wahań w poziomie obrotów poszczególnymi platynowcami ważne są także salda ich obrotów. Łączne saldo obrotów platynowcami w formie surowej lub półproduktów, tradycyjnie jest ujemne na poziomie kilku-kilkunastu milionów PLN/rok, choć wyjątkowo w latach 2005–2006 było ono dodatnie, a w 2009 r. dodatnie w zakresie obrotów półproduktami. Wartości jednostkowe obrotów poszczególnymi platynowcami w formie surowej lub półproduktów wahają się w bardzo szerokim zakresie, co wynika ze zróżnicowanej jakości towaru w obrębie danej pozycji.

### 3.14. Pierwiastki ziem rzadkich

- *źródła występowania* – złoża pierwiastków ziem rzadkich znajdują się na Dolnym Śląsku w okolicach Szklarskiej Poręby (do 0,5%) i Bogatyni (1,55% jako tlenki), i mają znaczenie mineralogiczne. Ważne gospodarczo są natomiast źródła wtórne, tzn. odpadowe fosfogipsy, importowane koncentraty apatytowe (0,8–1,0% tlenków pierwiastków ziem rzadkich) ze złóż masywu Chibińskiego w Rosji do produkcji kwasu fosforowego(V). Dobrze rozpoznane jest składowisko fosfogipsów przy ZCh Wizów, które zawiera 8,28 tys. Mg pierwiastków ziem rzadkich w suchym fosfogipsie,

- *produkcja* – pomimo, że badania nad pozyskiwaniem pierwiastków ziem rzadkich ze zwałowiska w Wizowie potwierdzają możliwość ich produkcji nie została jednak ona podjęta ze względów ekonomicznych.
- *zapotrzebowanie krajowe* – zaspokajane jest importem, głównie z Chin, krajów Europy Zachodniej, USA, a w latach 2007–2008 z Estonii. W okresie 2005–2009 w strukturze importu dominowały związki metali ziem rzadkich i ceru.

#### **4. Podsumowanie i wnioski**

Możliwości pozyskania surowców mineralnych zaliczanych do krytycznych są w Polsce niewielkie m. in. z następujących powodów: brak złóż o znaczeniu ekonomicznym (beryl, magnez, niob, kobalt i antymon, wolfram), brak perspektyw na odkrycie złóż niobu, tantalum i fluorytu czy współwystępowanie surowców z innymi metalami (niob, platyna, gal, ind, german). Natomiast złoża pierwiastków ziem rzadkich znajdujące się w okolicach Szklarskiej Poręby i Bogatyni mają znaczenie tylko mineralogiczne [2,3,5–7].

W Polsce beryl występuje na Dolnym Śląsku, głównie w pegmatytach i granitach. Natomiast potencjalnym źródłem do produkcji magnezu metalicznego są złoża dolomitów, które obecnie nie są wykorzystywane. Na Dolnym Śląsku znajdują się także złoża pierwiastków ziem rzadkich ale mają one tylko znaczenie mineralogiczne. W Polsce brak jest złóż kopalni niobu i realnych perspektyw na ich odkrycie. Surowce niobu nie są produkowane w Polsce. W Polsce nie rozpoznano także złóż kopalni tantalum i nie ma perspektyw na ich odkrycie. Udokumentowano złoża rud molibdenu z wolframem i miedzią typu porfirowego w okolicach Myszkowa, którego zasoby wynoszą 550,8 mln Mg rudy zawierającej 238 tys. Mg wolframu. Jednak w Polsce nie wydobywa się rud wolframu i nie produkuje surowców wolframu.

Źródłem pierwotnym platynowców są złoża rud miedzi, zawierające również kobalt. Złoża te znajdują się w Monoklinie Przedsudeckiej. Platynowce tworzą minerały własne, a także domieszki w minerałach złota i w związkach niemetalicznych. W Polsce nie występują samodzielne złoża rud kobaltu. W Polsce brakuje samodzielnych złóż galu. Potencjalne jego zasoby w nie zagospodarowanych dotychczas złożach

rud cynkowo-ołowiowych śląsko-krakowskich zostały określone na ok. 120 Mg. Gal sporadycznie tworzy własne fazy mineralne. Gal jest składnikiem rozproszonym w złożach innych kopalni. Pomimo pozyskiwania i przetwarzania galonośnych rud cynkowo-ołowiowych nie podjęto do tej pory produkcji galu w Polsce. Natomiast źródłem indu są rudy cynku, cyny, ołowiu, wolframu, żelaza oraz piryty. Ind i surowce indonośne w Polsce nie są produkowane. German występuje tylko w ilościach śladowych w rudach Zn-Pb złóż śląsko-krakowskich. Jego potencjalne zasoby w złożach udokumentowanych określono na poziomie 40 Mg, które nie są one obecnie wykorzystywane. Pomimo pozyskiwania i przetwarzania germanonośnych rud Zn-Pb nie podjęto produkcji germanu w Polsce. W Polsce nie rozpoznano złóż rud Sb i jego rud antymonośnych. Nie produkuje się również surowców antymonu.

W Polsce nie rozpoznano złóż fluorytu o znaczeniu ekonomicznym. Jego występowanie udokumentowano natomiast w głębszych partiach złoża barytu Stanisławów. Do tej pory fluoryt nigdy nie był w Polsce produkowany. Natomiast inne związki fluoru produkowane są przez przemysł chemiczny w Polsce [2,3,5–7].

Niektóre z surowców krytycznych można pozyskać ze źródeł wtórnych. I tak, przykładowo szacuje się, że w popiołach z węgla kamiennych znajduje się 97 tys. Mg berylu jednak nie ma odpowiedniej technologii jego odzysku. Ważne gospodarczo są źródła wtórne pierwiastków ziem rzadkich. Są to odpadowe fosfogipsy pozostałe po przerobieniu słabo wzbogaconych, importowanych koncentratów apatytowych ze złóż masywu Chibińskiego w Rosji. Zawierają one 0,8–1,0% tlenków pierwiastków ziem rzadkich. Fosfogipsy te znajdują zastosowanie w produkcji kwasu fosforowego(V). Przy Zakładach Chemicznych Wizów znajduje się zwałowisko fosfogipsów, będącego źródłem pierwiastków ziem rzadkich. Pomimo, prowadzonych badań nad pozyskiwaniem tych pierwiastków ze zwałowiska ich produkcji jednak nie została ona podjęta. Źródłami wtórnymi platynowców są głównie siatki katalityczne, a także złom i odpady platynowców, z innych zakładów produkujących wyroby z ich udziałem lub ich związki. Zaobserwowano obroty złomem magnezu. Regularnie sprowadzane są również duże ilości magnezu w postaci proszków, opiłków, wiórów i granulek. Natomiast statystycznie nieuchwytnie są obroty indem w masowo sprowadzanych wyrobach z przemysłu elektronicznego.

Potencjalnym źródłem odzysku kobaltu w postaci proszku są odpady po przeróbce złomu kobaltonośnych stopów, stali szlachetnych oraz narzędzi do skrawania wykonanych z węglików spiekanych. Ponad 90% pierwotnego galu pozyskuje się w złożonych procesach elektrolitycznych, z tzw. czerwonych szlamów powstających w trakcie przerobu boksytów metodą Bayer’a na aluminię, a resztę otrzymuje się metodami chemicznymi z pyłów hutnictwa cynku. Coraz większe znaczenie, jako źródło indu, zyskują surowce wtórne, głównie zużyte monitory, zawierające tlenek indocyny [3,5–7].

W 2012 r. odnotowano wzrost zapotrzebowania na antymon i kobalt. Zapotrzebowanie na te surowce wyrażono wielkością zużycia rzeczywistego lub pozornego w porównaniu do wielkości z lat 2008–2011. I tak, np.: dla antymonu zapotrzebowanie w Polsce wynosi +15%, a dla kobaltu +10% [1].

Zapotrzebowanie krajowe antymonu pokrywane jest w całości importem tlenków, antymonu nieobrobionego i proszków głównie z Chin. W latach 2006–2007 import antymonu nieobrobionego wynosił ponad 140 Mg/rok, natomiast w latach 2008–2012 wahał się w przedziale 48-70 Mg/rok. Natomiast w przypadku tlenków antymonu wynosił on w latach 2006–2007 ok. 1350 Mg/rok, a w latach 2008–2012 ustabilizował się na poziomie ok. 1000 Mg/rok z nieznacznym spadkiem w 2012 r. do wartości ok. 900 Mg/rok.

Wielkość importu kobaltu i jego surowców w całości jest pokrywana importem, co przedstawiono w tabeli 2.

**Tabela 2.** Struktura importu kobaltu w latach 2005–2012

**Table 2.** Structure of imports of cobalt in the years 2005–2012

Wyszczególnienie	Struktura importu kobaltu w latach 2005–2012 [Mg]							
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
surowce metaliczne kobaltu	25	40	57	39	39	34	33	33
tlenki i wodorotlenki kobaltu	134	62	18	37	14	18	110	15



Zapotrzebowanie na kobalt i jego surowce jest pokrywane dostawami z Belgii, Chin, Finlandii, Francji, Holandii, Kanady, Niemiec, USA i Wielkiej Brytanii.

W 2012 r. zanotowano natomiast spadek zapotrzebowania na następujące surowce: magnez (-10%), german (-26%), pierwiastki ziem rzadkich (-28%), ind, tantal i wolfram (-86%) oraz niob (-100%). Brak danych nt. zapotrzebowania na beryl i platynowce [3].

Zapotrzebowanie krajowe na magnez metaliczny pokrywane jest w całości importem. Wielkość importu magnezu metalicznego w latach 2010–2012 ustabilizowała się na poziomie ok. 5 tys. Mg po 30% ograniczeniu go w latach 2008–2009. W latach 2010–2012 import surowców magnezu pochodził głównie z Chin (50–85%), Austrii, Czech, Holandii, Niemiec oraz Węgier i wahał się w granicach 4,8–5,7 tys. Mg. W 2012 r. największe dostawy surowców magnezu w ilości 3,3 tys. Mg pochodziły z Chin.

Zapotrzebowanie na german pokrywane jest w całości nieregularnym jego importem (głównie germanu nieobrobionego, odpadów i złomu, proszków) wahającym się w granicach kilku do kilkunastu kilogramów rocznie oraz ciągłym importem tlenków germanu w ilości od 17–34 Mg/rok. Kierunki importu tlenków germanu to głównie Francja, Wielka Brytania, Holandia oraz Chiny, Kanada, USA i Japonia.

Zapotrzebowanie na surowce pierwiastków ziem rzadkich zaspokajane jest importem. Główne kierunki importu to: Chiny, kraje Europy Zachodniej, USA, a w latach 2007–2008 z Estonii. W okresie 2005–2012 w strukturze importu dominowały związki metali ziem rzadkich i ceru. Wielkość importu tych surowców jest zmienna zwłaszcza dla związków metali ziem rzadkich oprócz ceru, co przedstawiono w tabeli 3.

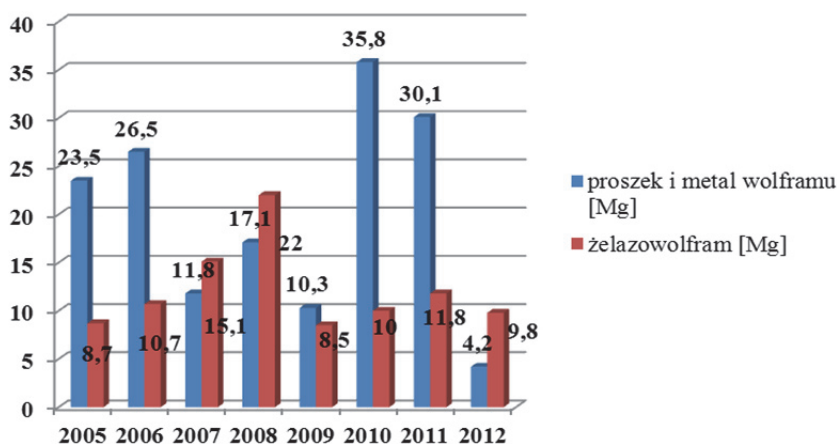
W latach 2005–2012 krajowe zapotrzebowanie na ind jest pokrywane regularnym importem z USA, Chin, Belgii, Niemiec, Szwajcarii, Japonii i Wielkiej Brytanii. W latach 2005–2008 import indu wzrósł z 13 kg do 77 kg, następnie nastąpił w 2009 r. spadek importu indu do 48 kg. W 2010 r. wartość importu indu osiągnęła wartość aż 20 Mg, a potem osiągnęła w 2012 r. poziom 9 kg.

**Tabela 3.** Struktura importu pierwiastków ziem rzadkich w latach 2005–2012  
**Table 3.** Structure of imports of rare earths in the years 2005–2012

Rok	Struktura importu pierwiastków ziem rzadkich w latach 2005–2012 [Mg]							
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Metale ziem rzadkich, skand i itr (łącznie)	6,0	6,8	0,9	0,6	2,4	7,9	0,0	1,7
Związki metali ziem rzadkich (oprócz ceru)	39,0	29,9	62,7	57,6	15,6	47,5	21,0	12,4
Związki ceru	79,3	94,1	84,8	147,8	41,0	135,4	85,5	64,9

Zapotrzebowanie na wolfram pokrywane jest w całości importem proszku i metalu wolframu oraz żelazowolframu m.in. z: Chin, Niemiec, Wielkiej Brytanii oraz Rosji.

Na rysunku 1. przedstawiono strukturę importu w latach 2005–2012 proszku i metalu wolframu oraz żelazowolframu.



**Rys. 1.** Struktura importu pierwiastków produktów wolframu w latach 2005–2012

**Fig. 1.** Structure of imports of products of tungsten in the years 2005–2012

Najważniejszym surowcem niobu sprowadzanym do Polski jest żelazoniob. Wielkość importu jest zmienna i zależy od zapotrzebowania przemysłu stalowniczego. W latach 2005–2012 kształtowała się na poziomie od 104 Mg w 2005 r. do 397 Mg w 2010 r. poprzez 377 Mg w 2007 r. i 379 Mg w 2012 r. Żelazoniob był importowany z Brazylii, Holandii.

Zapotrzebowanie krajowe berylu pokrywane było do 2003 r. importem ok. 2,2 Mg/rok berylu w postaci metalu i proszku, głównie z Chin i krajów Unii Europejskiej. W latach 2005–2009 dane obrotach berylu nie były wykazywane w statystykach GUS. W 2010 r. reeksportowano wyroby z berylu, przekraczający sześciokrotnie wielkość jego importu. Jedynym dostawcą berylu do Polski w latach 2010–2011 był Kazachstan, a w przypadku wyrobów z berylu głównymi dostawcami w ostatnich latach były kraje UE, USA i Kazachstan. Reeksport w 2010 r. był kierowany do Belgii i Szwajcarii.

Import tantalu jest niewielki, wg danych GUS, w 2006 r. wyniósł tylko 2 kg, w 2007 r. – 173 kg, a w 2008 r. – 18 kg. W latach następnych nie odnotowano importu tantalu. Import tantalu nieobrobionego i wyrobów z tantalu (sztaby, pręty, kształtowniki, druty, blachy, taśmy i folie) pochodził z Niemiec i Austrii oraz z Chin, USA i krajów UE. Odbyswał się również reeksport odpadów, złomu i wyrobów z tantalu do Wielkiej Brytanii, Niemiec i Rosji.

Import platynowców do Polski w latach 2005–2012 był bardzo zmienny, co przedstawiono w tabeli 3. Głównymi kierunkami importu były Niemcy, Słowacja, USA i Wielka Brytania.

**Tabela 4.** Struktura importu platynowców w latach 2005–2012

**Table 4.** Structure of imports of platinum group metals in the years 2005–2012

Wyszczególnienie	Struktura importu platynowców w latach 2005–2012 [kg]							
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
platynowce-surowe i proszki	2	7	102	126	45	37	41	675
platynowce-półprodukty	3378	1045	559	668	4770	2590	2092	618

Z powyższych rozważań można wyciągnąć wniosek, że zapotrzebowanie na surowce krytyczne jest pokrywane głównie importem. Na przestrzeni analizowanego okresu czasowego, w latach 2005–2012, zmienność importu dotyczyła m.in. platynowców, antymonu, magnezu, germanu, pierwiastków ziem rzadkich, indu czy niobu.

Prognozy gospodarcze na najbliższe lata wskazują na to, że związany z rozwojem nowych technologii wzrost zapotrzebowania na te surowce, będzie pokrywany importem gotowych wyrobów z berylu, galu, indu, germanu, niobu, tantalu i wolframu (Chiny oraz kraje Unii Europejskiej o większym potencjale przemysłowym) [2,8,4,14].

## Literatura

1. bazy.uprp.pl – informacje nt. zgłoszeń patentowych .
2. *Bilans gospodarki surowcami mineralnymi Polski i świata 2009* (red. T. Smakowski, R. Ney, K. Galos). Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, (2011).
3. **Biel K., Blaschke W., Witkowska-Kita B.:** *Surowce krytyczne – studium pozyskiwania w Polsce*. Monografia: Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych, Wyd. KOMAG Gliwice, 7–20 (2013).
4. **Blaschke W., Blaschke Z.:** *Mała encyklopedia technologii przeróbki kopaliny*, Inżynieria Mineralna. Tom 20–22. Wyd. PTPK, Kraków 2011.
5. **Blaschke W., Blaschke Z.:** *Przeróbka mechaniczna, w Surowce Mineralne Świata* (red. A. Bolewski). Tom Al-Be-Li-Mg, Tom Ba-B-F-Sr, Tom Ni-Co, Tom Mo-W-Re-Sc, Wyd. Geologiczne, Warszawa, (1976,1978, 1984,1985).
6. **Brzyska W.:** *Lantanowce i aktynowce*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1987.
7. **Ciba J.:** *Mała encyklopedia pierwiastków*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1996.
8. *Critical raw materials for the EU – Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials*. EU Commission Enterprise and Industry. (2010).
9. **Gruszczak H.:** *Nauka o złożach*. Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa 1984.
10. **Kabata-Pendias A.:** *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. Wydawnictwa Naukowe PWN, Warszawa 1993.
11. **Kijkowska J.:** *Sposób odzyskiwania lantanowców z fosfogipsu*. Opis patentowy Nr 129444, (1987).

12. **Kijkowska R., Mazanek Cz.:** *Otrzymywanie koncentratów ziem rzadkich z apatytu*. Praca zbiorowa „Pierwiastki ziem rzadkich – surowce technologiczne, zastosowanie”. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1990.
13. **Kowalczyk J., Mazanek Cz.:** *Ziemie rzadkie – problem zaspokajania potrzeb gospodarki narodowej*. *Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii (Physicochemical Problems of Mineral Processing)*, 19, 233–241 (1987).
14. **Radwanek-Bąk B.:** *Zasoby kopalin Polski w aspekcie oceny surowców krytycznych Unii Europejskiej*. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi (Mineral Resources Management)*, 1 (27), 5–19 (2011).
15. **Smakowski T.:** *Surowce mineralne – krytyczne czy deficytowe dla gospodarki UE i Polski*. *Zeszyty Naukowe IGSMiE PAN*, 81, 59–68 (2011).

## Analysis of the Possibility of Obtaining Critical Minerals

### Abstract

In 2008 Committee on Critical Mineral Impacts of the U.S. Economy, presented a definition of critical raw materials, which was also adopted by the countries of the European Union. According to this definition the critical raw materials are “minerals / materials exposed to the risk of disrupting or interruption of the supply, for which this deficit can have serious economic consequences for the entire economy”.

The most critical to the economy of the European Union were considered 14 raw materials of significant economic importance, (i.e.: antimony, beryllium, cobalt, fluorspar, gallium, germanium, graphite, indium, magnesium metal, niobium, platinum group metals, rare earths, tantalum and tungsten) characterized primarily by a high risk of shortage or lack of supply, which result from a limited number of sources of their acquisition. Most materials belonging to this group are essential for the development of new technologies. The above list of 14 critical raw materials is a proposal that can be modified as a result of the reduction of critical raw materials resources in European countries.

As a result of the literature analysis of identified technology it was found that the most recognizable way to enrich the individual raw materials is processing their ores, which are the carriers of many metals.

The ore is processed in order to improve the chemical composition, standardization of the ore in terms of chemical and physico-chemical properties, providing adequate size pieces of the ore.

Since the mined ore is usually not suitable for direct processing, multi-stage process of the ore enrichment is important. The enrichment of metal ores can be divided into: mechanical and chemical enrichment. The process of ore processing was applied to the following materials: beryllium, cobalt, tungsten and fluorite.

A comprehensive assessment of mineral potential of the European Union countries and the identification of the so-called critical raw materials necessary for its harmonious and sustainable economic development and technological progress, is one of the priorities of the EU's raw materials policy.

**Słowa kluczowe:**

surowce krytyczne, raport Komitetu UE, technologie pozyskiwania, produkcja, zapotrzebowanie

**Keywords:**

critical raw materials, EU Committee report, technology acquisition, production, demand