

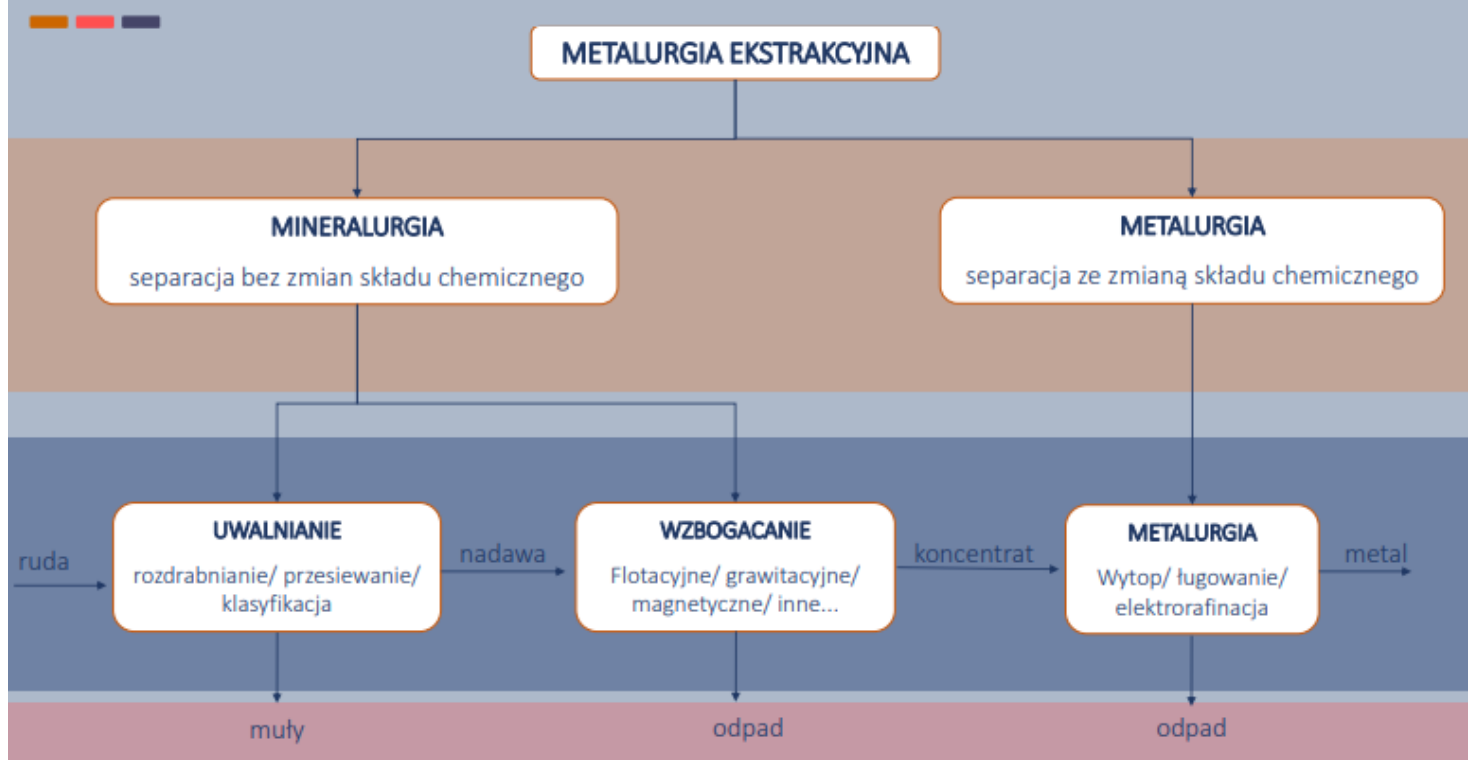
# Słowniczek geologiczny

pierwiastek	rudy tlenkowe	rudy siarczkowe
Fe	heamtyt $Fe_2O_3$ , magnetyt $Fe_3O_4$ , limonit $2Fe_2O_3 \cdot H_2O$	piryt $FeS_2$
Cu	kupryt $Cu_2O$	chalkozyn $Cu_2S$ , chalkopiryt $CuFeS_2$ , bornit $Cu_5FeS_4$
Al	boksyt $Al_2O_3 \cdot H_2O$	-
Pb	-	Galena $PbS$

## Ruda bogata i uboga

metal	bogata	uboga (% mas)
<b>Fe</b>	>50	<35
Al	>25	<15
Zn	>10	<5
Pb	>9	<5
<b>Cu</b>	>3	<1.5
Ni	>2.5	<2.5
Sn	>1.5	<0.5

## Zarys metalurgii ekstrakcyjnej



## Rozdrabnianie

Nadawa >50mm = kruszenie; <50mm = mielenie

Mielenie zjada strasznie dużo energii na tonę - dlatego **nie pyli się mielić rudy ubogiej**.

Równanie Bonda - energia potrzebna do rozdrobnienia tony materiału

$$E[kWh/t] = 10W_i \left( \frac{1}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{F_{80}}} \right)$$

$W_i$  - wskaźnik Bonda

$F_{80}$  - uziarnienie nadawy

$P_{80}$  - uziarnienie produktu

## Klasyfikacja

Analiza sitowa, wstępna charakterystyka, wykresy uziarnienia, parametry  $d_{80}$  lub  $d_{50}$

Analiza składu chemicznego - XRF, ICP

Analiza mineralogiczna - XRD, SEM - w jaki sposób są zrosnięte ziarna

## Wzbogacanie

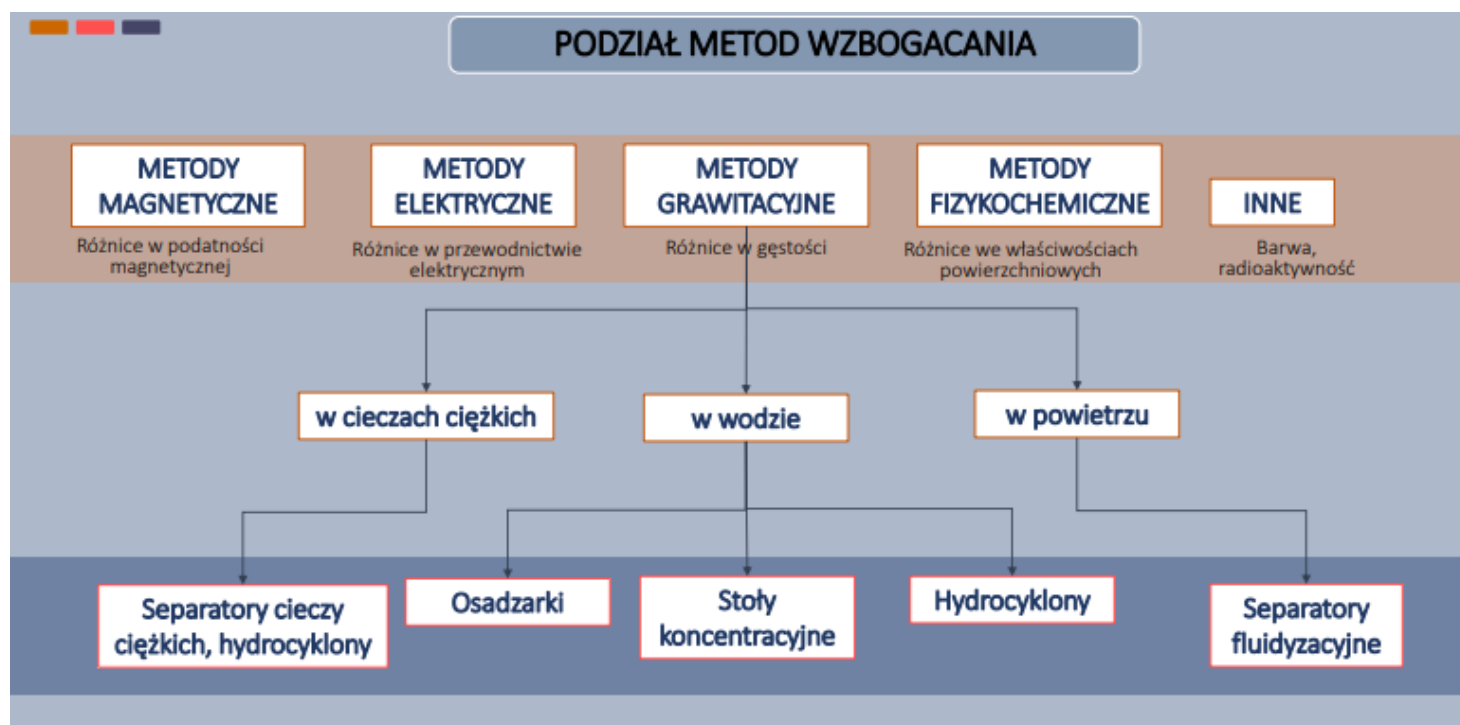
Wskaźniki wzbogacania:

- stopień wzbogacenia  $\frac{N}{K}$

- uzysk metalu w koncentracji  $\varepsilon = \frac{kK}{nN} [\%]$
- wychód koncentratu  $\gamma = \frac{K}{N} [\%]$

gdzie K - masa koncentratu, N - masa rudy, k - zawartość metalu w koncentracji, n - zawartość metalu w rudzie

W razie potrzeby rozważ bilans masowy procesu.



## Separacja grawitacyjna

metody grawitacyjne są skuteczne gdy jest duża różnica między gęstością minerału i skały płonnej (generalnie powyżej 2.5 g/cm<sup>3</sup>, minimum 1.5g/cm<sup>3</sup>, zależy od wielkości ziaren)

## Separacja magnetyczna

ujemne wartości podatności magnetycznej - wypychane z pola magnetycznego (diamagnetyki)

dodatnie, małe - paramagnetyki

dodatnie, duże - ferromagnetyki ( $FeCO_3$ ,  $FeWO_4$ ,  $MnWO_4$ ,  $FeCr_2O_4$ , Fe, Cr, Co, Ni)

do oczyszczania tlenku cyny - sam nie jest magnetyczny, ma zanieczyszczenia magnetyczne

Gdyby korona była z wolframu to by Archimedes dał się oszukać, chyba, że miałby magnes

## Separacja elektrostatyczna

oddzielamy na podstawie tego czy przewodzi prąd

## Flotacja

minerały hydrofobowe idą z pianą do góry i robią koncentrat

flotacją przerabia się przede wszystkim rudy siarczkowe - siarka jest bardzo hydrofobowa, siarczki też

90% rud siarczkowych świata przerabia się flotacją

## Zarys pirometalurgii

1. Przygotowanie wsadu
  - suszenie
  - aglomeracja
  - koksowanie
2. Konwersja rud do tlenków
  - kalcynacja
  - prażenie
3. Redukcja tlenków do metali
  - termiczna
  - chemiczna
  - elektrolityczna
4. Oczyszczanie
  - elektrorafinacja
  - likwacja
  - destylacja

## Aglomeracja i koksowanie

W procesie wielkopiecowym koncentrat nie może być zbyt rozdrobniony bo strumień gazów go uniesie i wyprowadzi kominem

Materiał po aglomeracji musi być porowaty aby mogły się do niego dostawać gazy

Aglomeracja:

Peletyzowanie -  $<0.1\text{mm}$ , na mokro, ze spoiwem

Spiekanie - ok.  $10\text{mm}$ , częściowe nadtopnienie

Brykietowanie - na sucho, pod ciśnieniem

Koksowanie - piroliza węgla 900-1200 st. C bez dostępu powietrza

## Kalcynacja i prażenie

Termiczny rozkład związku bez dostępu powietrza.

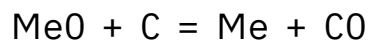
Kalcynację stosuje się głównie do konwersji węglanów i wodorotlenków do tlenków. Powstaje  $CO_2$

Prażenie polega na ogrzewaniu materiałów stałych w obecności gazu.

Prażenie stosuje się do rud siarczkowych. Powstaje  $SO_2$

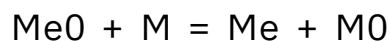
## Chemiczna redukcja (pozostałe są mało ważne)

Redukcja karbotermiczna (1200 - 1600 oC)



Metalurgia Fe, Zn, Ni, Sn, Pb

Redukcja metalotermiczna (900 - 2400 oC)



Reduktory – metale aktywne: Ca, Mg, Na, Al, Si lub wodorki np.  $CaH_2$

Metalurgia Ti, Zr, Ta, Nb, U, Be, Rb, Cs, Mg, Ba

Stosujemy kiedy nie chcemy zanieczyścić metalu węglem

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \text{ i wszystko jasne}$$

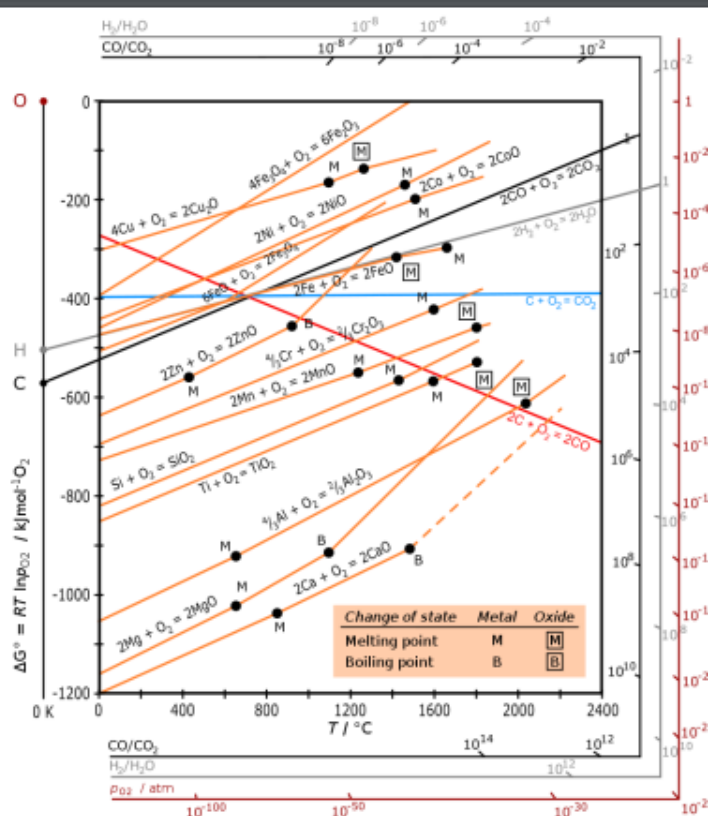
Proces jest samorzutny gdy zmiana entalpii swobodnej jest ujemna

## Diagram Ellinghama

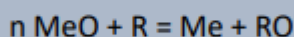
## DIAGRAM ELLINGHAMA

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S$$

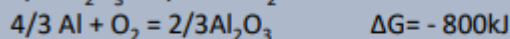
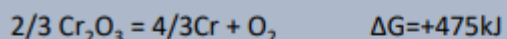
- » Niższa pozycja metalu na diagramie Ellinghama = większa stabilność jego tlenku.
- » Metal obecny na diagramie Ellinghama może być czynnikiem redukującym dla tlenku metalu leżącego powyżej niego.
- » Stabilność tlenków metali maleje ze wzrostem temperatury.
- » Przecięcie dwóch linii wskazuje stan równowagi reakcji utleniania i redukcji pomiędzy dwoma substancjami. Redukcja jest możliwa w punkcie przecięcia i wyższych temperaturach gdzie linia  $\Delta G$  reduktora na diagramie leży poniżej tlenku metalu.



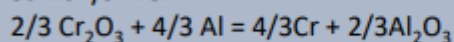
Możliwe jest zredukowanie tlenku metalu innym metalem, którego linie  $\Delta G(T)$  biegną poniżej linii dla redukowanego tlenku.



Redukcja  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  za pomocą Al w  $1200^\circ\text{C}$



Sumarycznie:



Ponieważ  $\Delta G = -325 \text{ kJ}$  to reakcja redukcji jest możliwa.

## Elektorafinacja, likwacja, destylacja

Elektorafinacja - robimy ogniwo, w którym oczyszczany metal jest katodą.

Proces likwacji stosuje się do metali, których temperatury topnienia są niższe niż towarzyszących im zanieczyszczeń (Pb, Sn, Hg, Bi). (lejek-zjeżdżalnia po którym spływa roztopiony metal a zanieczyszczenia zostają)

Destylacja próżniowa - Hg, Cd i Zn mają znośnie niskie temperatury wrzenia (szczególnie jak obniżymy ciśnienie).

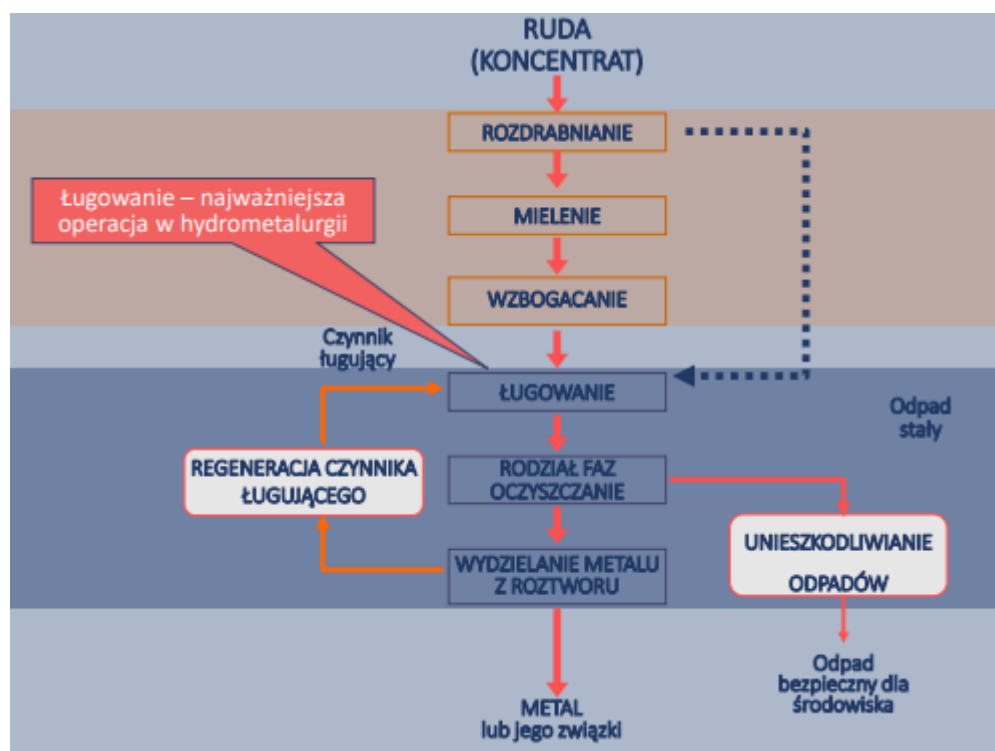
Normalnie sobie destylujemy i kondensujemy pary cynku. Odpady i metale co się nie dadzą tak łatwo odparować zostają.

# Pirometalurgię żelaza i miedzi zobaczcie sobie u Marka

## Kiedy hydrometalurgia?

- ubogie źródła
- wysokie koszty transportu do huty
- składniki toksyczne
- surowce polimetaliczne (można rozdzielić podobne)
- Zawsze do platynowców, glinu i uranu
- Bardzo często do Au, Zn
- Ni, Cp, Cu

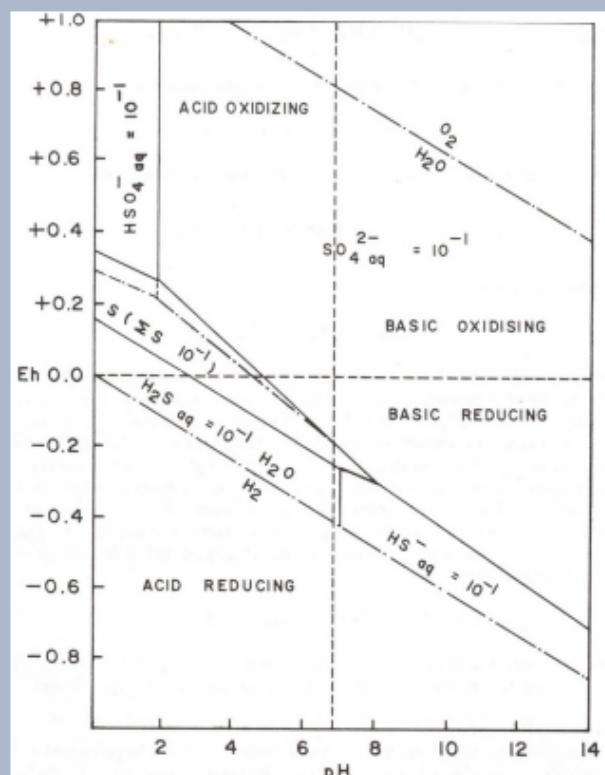
## Zarys procesu hydrometalurgicznego



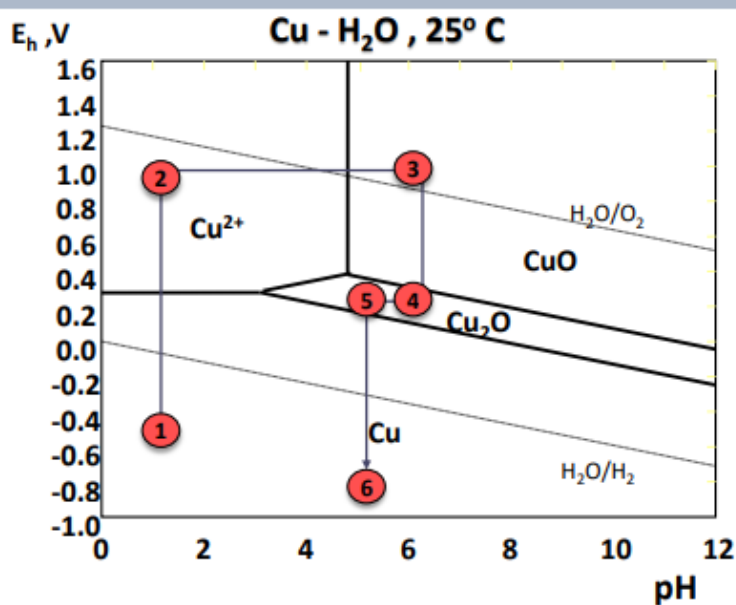
## Diagramy Pourbaix

## JAK CZYTAĆ DIAGRAM Eh-pH?

- » Linie pionowe oddzielają formy, będące w równowadze kwas- zasada
- » Pozostałe linie oddzielają formy utlenione i zredukowane tej samej substancji
  - » Poziome linie oddzielają formy będące w równowadze redox, nie obejmujące jonów  $H^+$  lub  $OH^-$ .
  - » Linie ukośne oddzielają formy będące w równowadze redox obejmując reakcje z udziałem jonów  $H^+$  i  $OH^-$
- » Linie przerywane (ukośne) ograniczają obszar termodynamicznej stabilności wody
- » Silne utleniacze i warunki utleniające znajdują się TYLKO w górnej części diagramu.
- » Czynniki i warunki redukujące znajdują się na dole diagramu



## DIAGRAM RÓWNOWAG ELEKTROCHEMICZNYCH DLA UKŁADU Cu-H<sub>2</sub>O

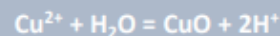


**1** – obszar stabilności metalicznej Cu

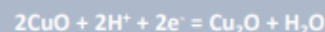
**1-2** elektrochemiczne roztworzenie metalicznej miedzi z utworzeniem jonów  $Cu(II)$ , które są najbardziej stabilne w obszarze 2:



**2-3** strącanie stałego tlenku  $Cu(II)$ :

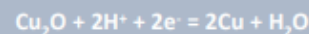


**3-4** redukcja tlenku miedzi(II) do tlenku miedzi(I):



**4-5**  $Cu_2O$  – forma nadal stabilna, brak reakcji

**5-6** redukcja tlenku miedzi(I) do metalicznej miedzi:



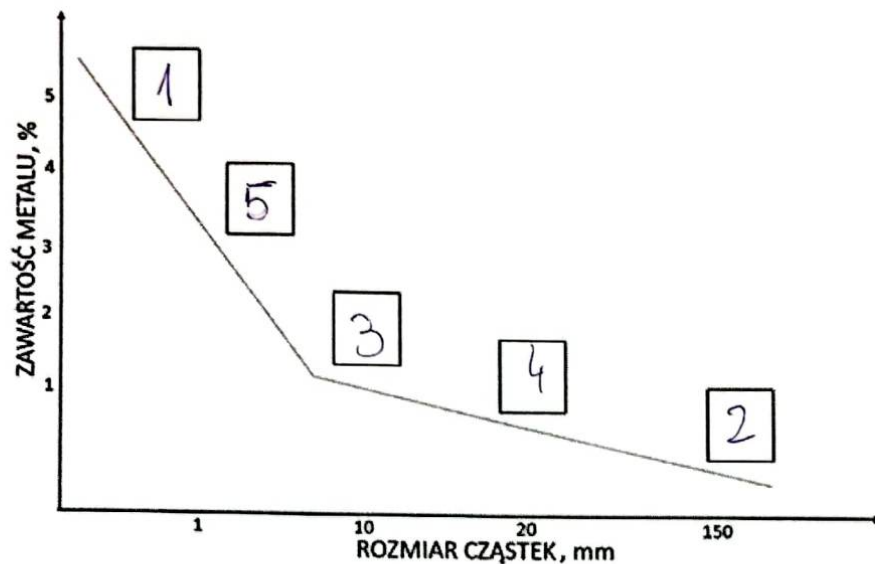
**6** – metaliczna miedź jest formą stabilną

Dodatkowo zapamiętaj - na diagramie Pourbaix dla żelaza  $Fe(OH)_3$  jest nierozpuszczalny.

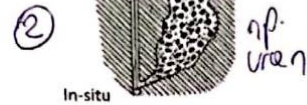
## Metody ługowania



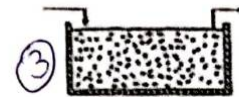
Przypisz metodę ługowania do odpowiedniej pozycji na poniższym wykresie.



Autoklaw



In-situ



kadz



Hałda

Zwałowisko



Reaktor atmosferyczny

Zaproponuj sposób przerobu surowca w zależności od warunków wskazanych na poniższym diagramie.

