

PODSTAWY MINERALURGII

ROZDRABNIANIE



ROZDRABNIANIE

MECHANICZNE

CHEMICZNE

siłami zewnętrznymi

siłami specjalnymi

siłami chemicznymi

- zgniatanie
- łamanie
- ścieranie
- łupanie
- ścinanie
- miażdżenie
- inne

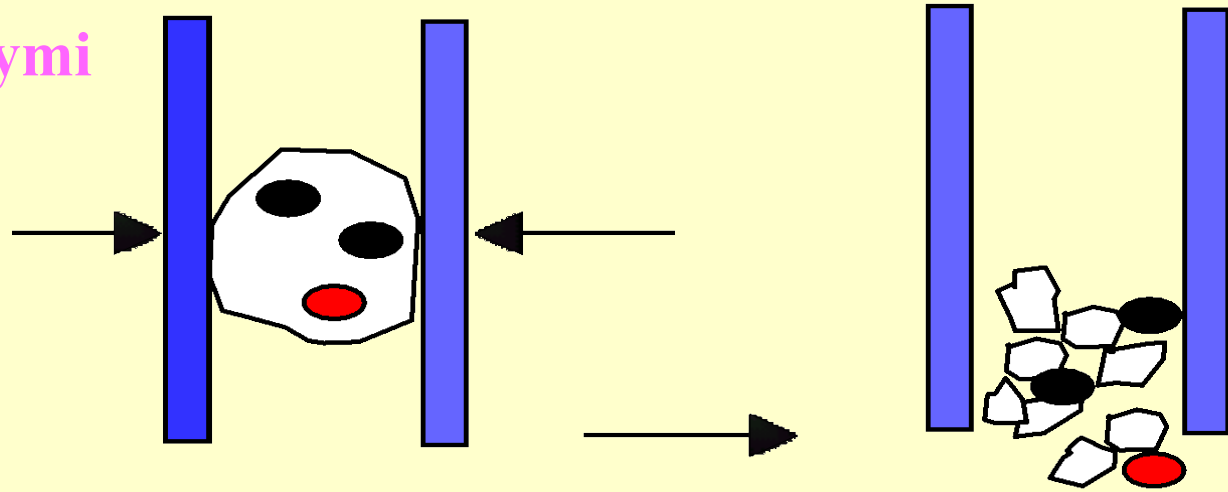
- szok termiczny
- zmiana ciśnienia
- bombardowanie cząstkami lub fotonami
- inne

- roztwarzanie
- rozpuszczanie
- spalanie
- bioługowanie
- inne

Rozdrabnianie mechaniczne

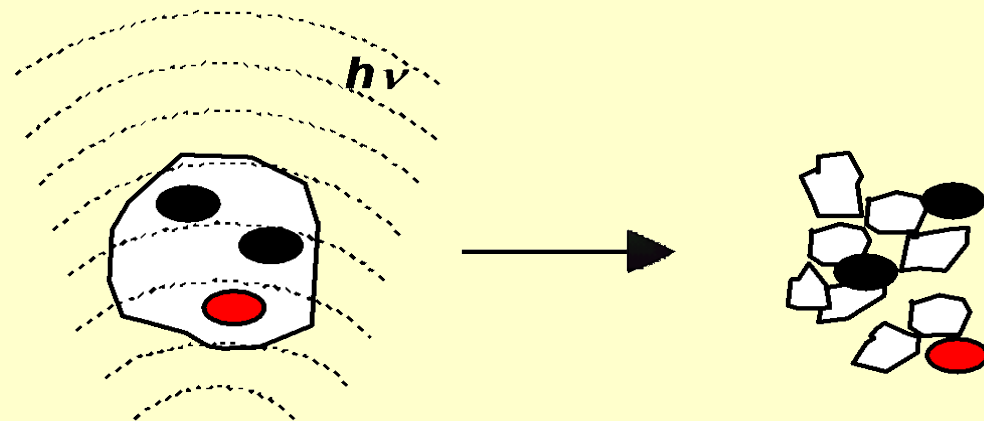
a

Siłami zewnętrznymi



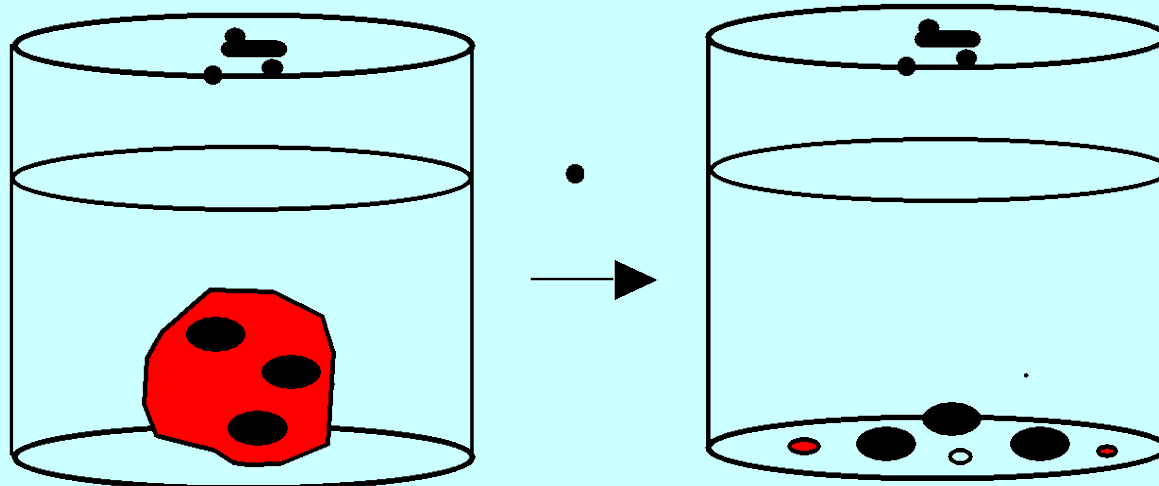
b

Siłami specjalnymi

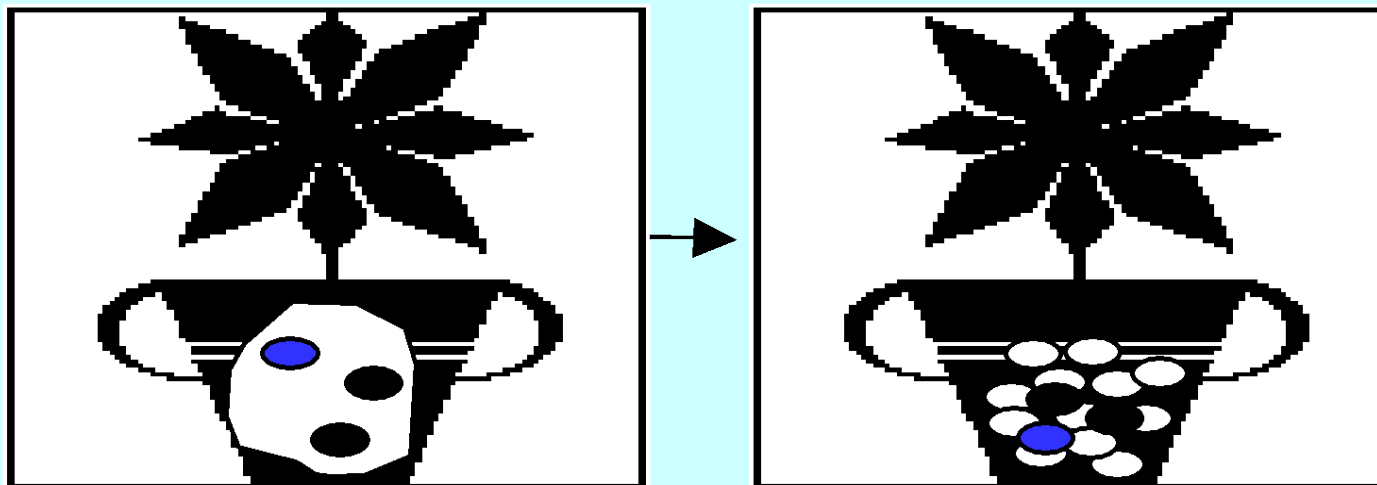


Rozdrabnianie chemiczne

a

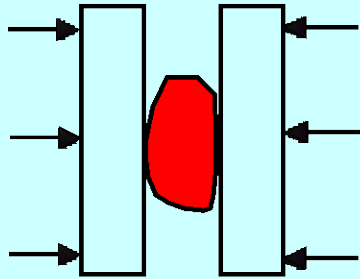


b

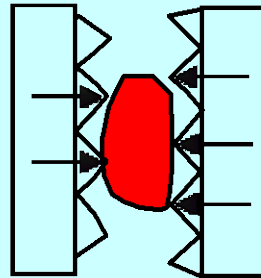


Sposoby rozdrabniania

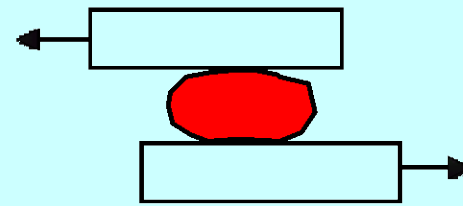
zgniatanie



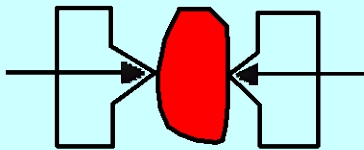
łamanie



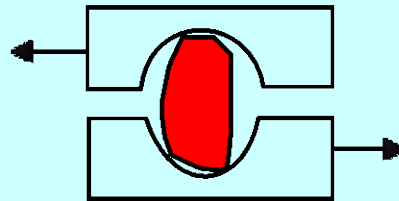
ścieranie



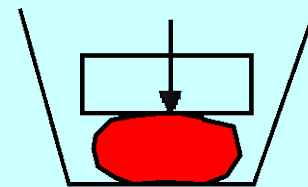
łupanie



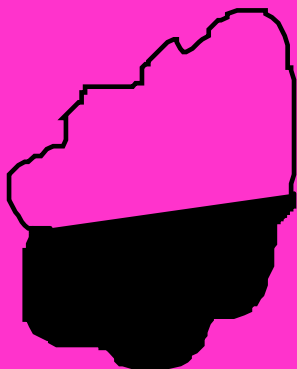
ścinięcie



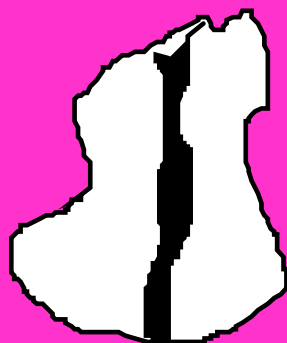
miażdżenie



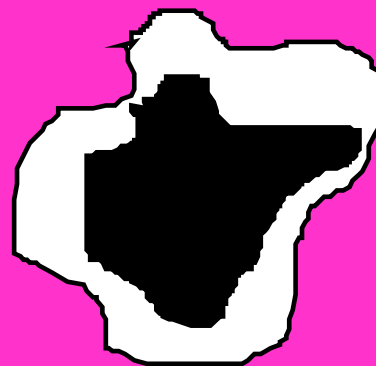
Podstawowe typy zrostów ziarn minerału użytecznego ze skałą płoną



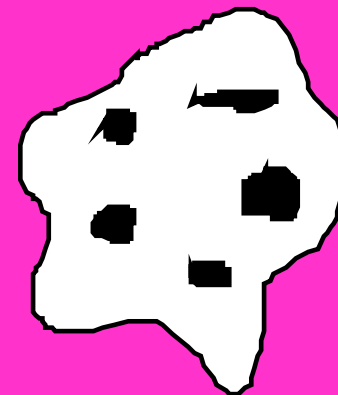
regularny



żyła



otoczka

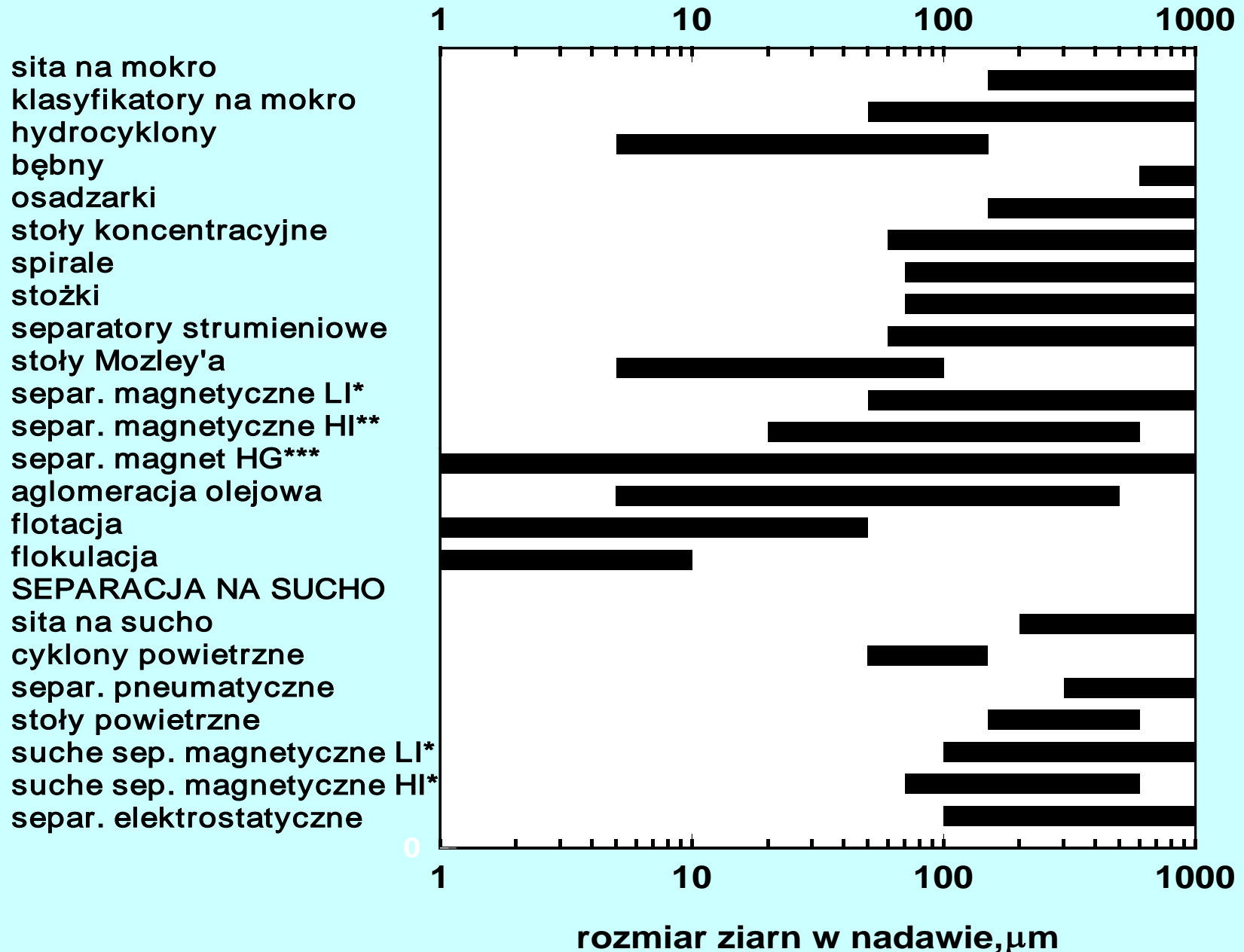


okluzja

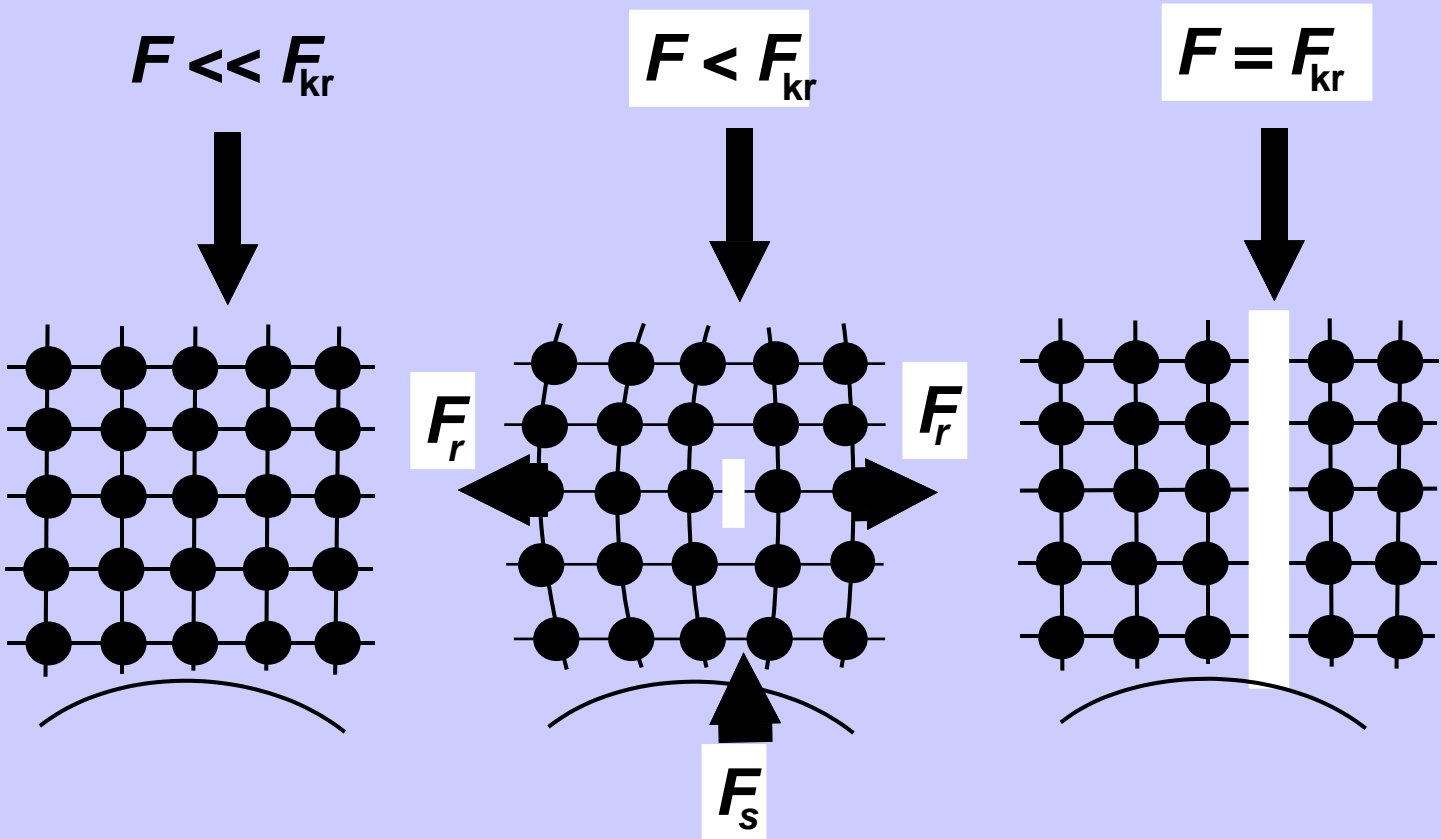
Podział na kruszenie i mielenie według wielkości ziarn

Rodzaj rozdrabniania	Maksymalne ziarno, mm	
	nadawy	produktu
Kruszenie grube	1500	500
Kruszenie średnie	500	150
Kruszenie drobne	150	50
Mielenie grube	50	5
Mielenie średnie	5	0,5
Mielenie drobne	0,5	0,05
Mielenie koloidalne	0,05	<0,005

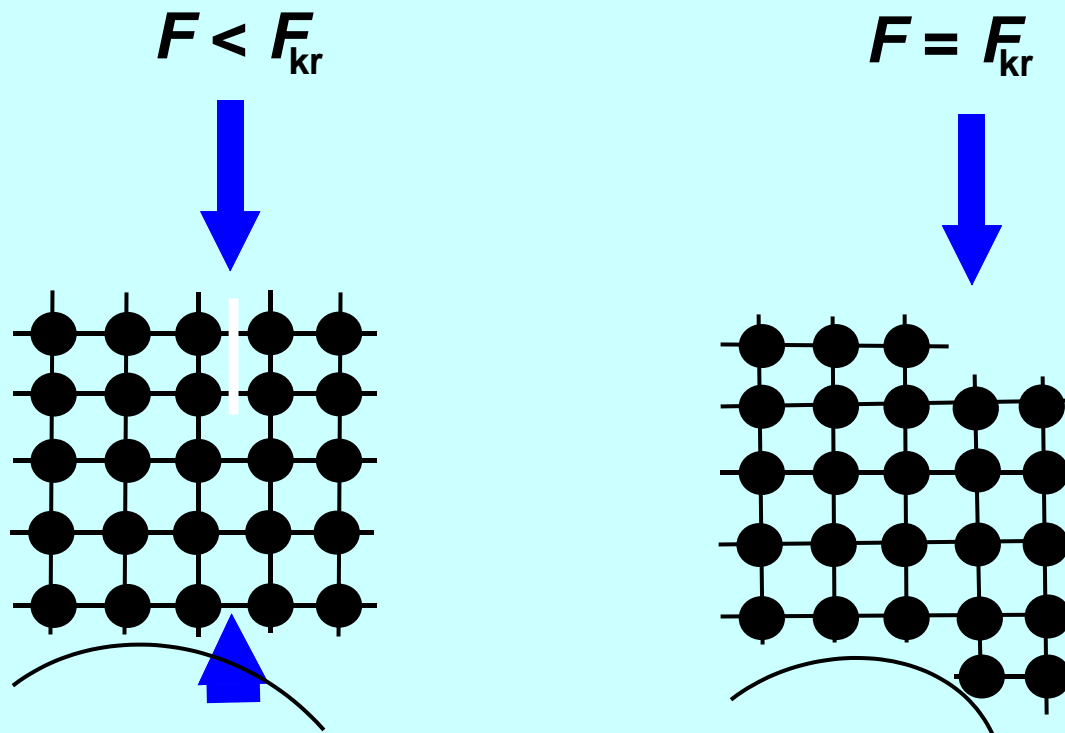
Metody separacji i optymalny dla nich rozmiar ziarn



Rozpad ziarn kruchych



Zginanie ziarn giętkkich



Fizykomechaniczny opis rozdrabniania ziarn

hałas, ciepło, itd.

$$E_r = \Delta E_n + \Delta E_p + \Delta E_{inne}$$

Energia tworzenia naprężeń

Energia na utworzenie nowej powierzchni (~1%)

$$E_r \approx 1,23G^2 d^3/E$$

$$E_r \approx \gamma \Delta S$$

E_r - energia rozdrabniania

G - naprężenie w momencie rozrywania ziarna

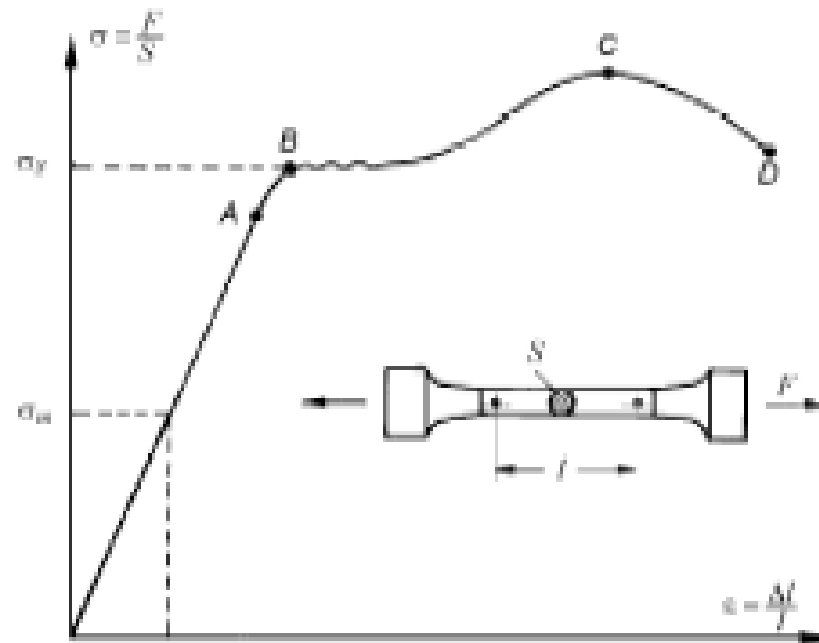
d - średnica ziarna

S - powierzchnia ziarna

γ - energia powierzchniowa ziarna

E - moduł Younga, σ/ϵ , Pa

http://www.ftj.agh.edu.pl/zdf/zeszyt/3_11n.pdf



Rys. 1. Zależność naprężenie-odkształcenie, typowa dla większości metali.
Punkty A-D objaśniono w tekście, pogrubiono zakres funkcji badanej w ćwiczeniu.
Wstawka pokazuje kształt próbki używanej do doświadczalnego wyznaczenia pełnej zależności $\sigma(\epsilon)$

Podstawowe parametry rozdrabniania

Material	Moduł Younga GN/m ² = 10 ⁹ Pa=MPa	Energia powierzchniowa mN/m = 10 ⁻³ J/m ²
Woda	~0	72,8
Lód	9,1	90–120
Pb	16,2	442 (350 °C)
KCl (sylwinit)	29,63	97(780 °C)
SiO ₂	50 – 78 (szkło)	230 (1400 °C)
CaCO ₃ (kalcyt)	56,5 (marmur)	230 (100)
Au	78	1128 (1120 °C)
Ag	83	923 (995 °C)
Cu	120	1120 (1140 °C)
CaF ₂ (fluoryt)	75,79	450 (płaszczyzna 111)
Al ₂ O ₃ (korund)	390	580 (2050 °C)
C (diament)	1050 - 1200	~3700
Granit	51,5 – 61,4	–
Piaskowiec	34 – 50	–
Diabaz	61 – 69	–

Wskaźniki rozdrabniania

$$I = \text{stopień rozdrobnienia} = \frac{D}{d} = \frac{\text{rozmiar ziarn przed rozdrobnieniem}}{\text{rozmiar ziarn po rozdrobnieniu}}$$

gdzie:

D – cały zbiór ziarn nadawy,

d – cały zbiór ziarn produktu rozdrabniania

$$L = \varepsilon_L = \text{stopień uwolnienia} = \frac{\text{masa wolnych ziarn rozpatrywanego składnika}}{\text{masa rozpatrywanego składnika w nadawie}}$$

Empiryczny opis rozdrabniania ziarn

$$dE_0 = - C dd/d^{f(d)}$$

Hukki, 1975

dE_0 – przyrost specyficznej (przypadającej na jednostkę masy) energii rozdrabniania, zwanej także energią jednostkową lub specyficzną,

C – stała,

$f(d)$ – funkcja zależna od wielkości ziarna d ,

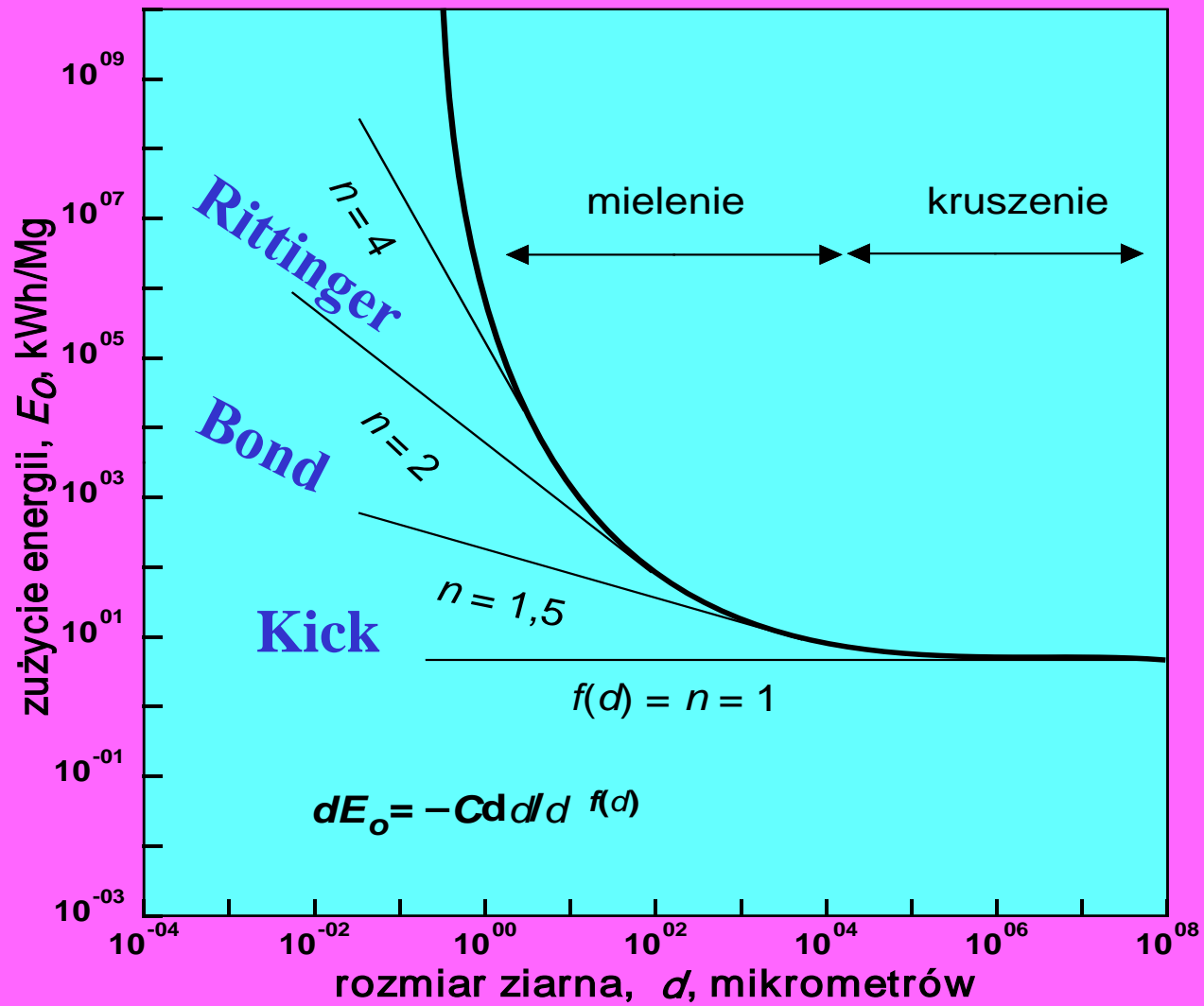
dd – zmiana rozmiaru ziarna.

Znak minus oznacza, że rozmiar ziarna maleje wraz z energią rozdrabniania E_0 .

lub w nieco uproszczonej postaci:

$$dE_0 = - C dd/d^n$$

Walker, 1937



$$E_0 = E_r/m = E_r \rho/V$$

Szczególne rozwiązania równania Walkera

$$n = 1 \quad \text{Kick, 1885)}$$

$$E_0 = K_K \ln(D/d)$$

$$E_r = K_K \ln(D/d) V/ \rho$$

d - średni rozmiar ziarn po rozdrobnieniu, m

D - średni rozmiar ziarn przed rozdrobnieniem, m

K_K - stała rozdrabniania

ρ - gęstość ziarna, Mg/m³

V - objętość ziarna, m³

m -masa ziarna, kg

E_r - energia rozdrobnienia, J

E₀ - specyficzna energia rozdrobnienia, J/kg

(Energia rozdrabniania przy stałym stopniu rozdrobnienia

D/d jest proporcjonalna do objętości ziarna)

Szczególne rozwiązania równania Walkera

$$n=1,5$$

Bond, 1952)

$$E_o = K_B (1/d^{0.5} - 1/D^{0.5})$$

$$E_r = K_B (1/d^{0.5} - 1/D^{0.5})V/\rho$$

średni rozmiar ziarna nadawy (D) oraz po rozdrobnieniu (d)
= rozmiar oczka sita, przez który przechodzi 80% materiału

(Energia rozdrabniania zależy od objętości i powierzchni ziarn)

Szczególne rozwiązania równania Walkera

$$n = 2$$

Rittinger (1857)

$$E_o = K_R (1/d - 1/D)$$

$$E_o = E_r \rho/V$$

czyli

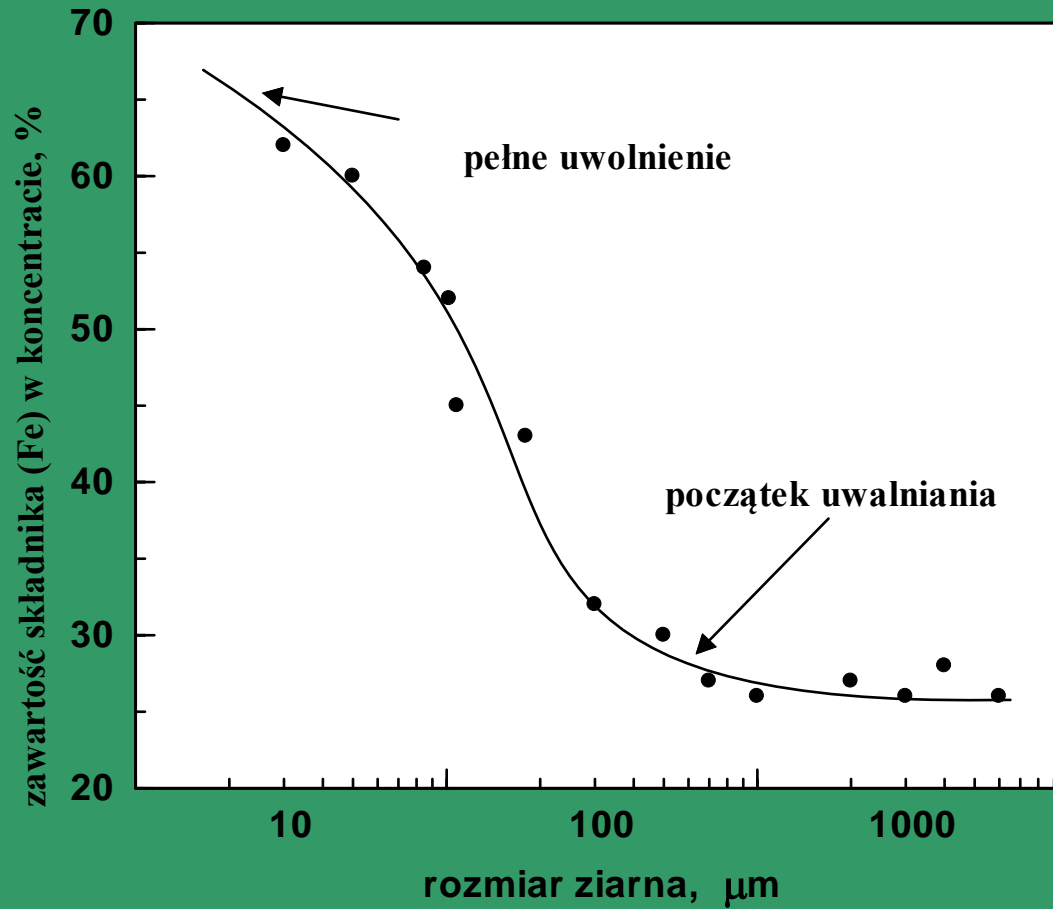
$$E_r \approx K_R^* (S_d - S_D)$$

S - powierzchnia ziarna

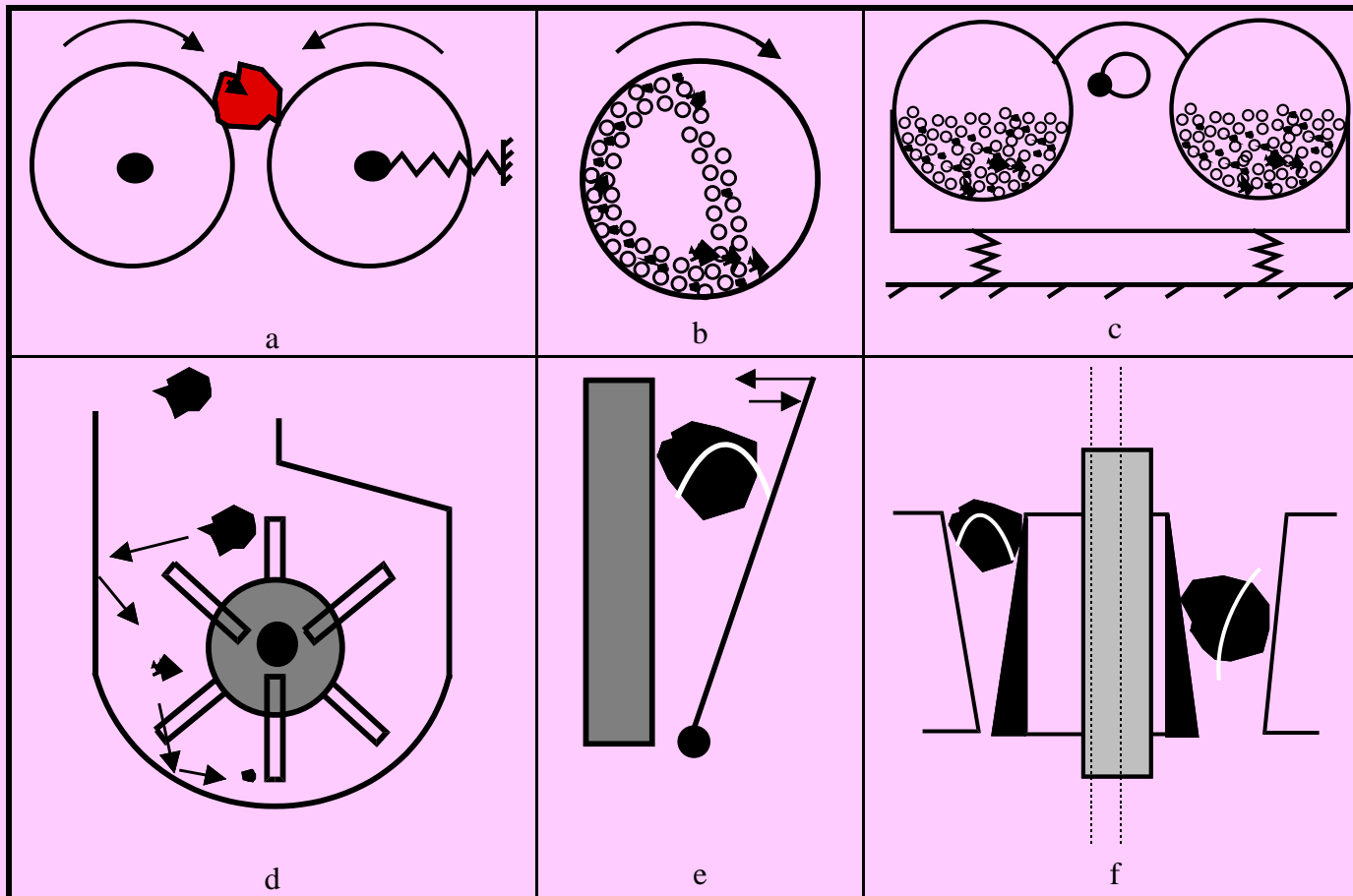
(Energia rozdrabniania jest w przybliżeniu proporcjonalna do powierzchni powstałych ziarn)

Wartości stałej rozdrabniania K_B dla różnych materiałów
 (dane według Möllinga, 1960, cytowane przez Kocha i Noworytę, 1992)
 $n = 1,5$. Stała K_B w $J/(kg \cdot m^{-0,5})$ przeliczona na $m^{1,5}/s^2$ ($J = kg \cdot m^2/s^2$)

Materiał	Mielenie mokre $K_B, m^{1,5}/s^2$	Mielenie suche $K_B, m^{1,5}/s^2$
Glina	227	303
Gips	243	324
Boksyt	317	422
Fosforyt	358	477
Surowy cement	379	505
Kamień wapienny	459	613
Hematyt	463	617
Węgiel	469	625
Klinkier cementowy	485	647
Kwarc	489	653
Granit	546	728
Łupki glinowe	572	763
Żwir	579	772



Urządzenia do rozdrabniania



Rys. 3.15. Wybrane urządzenia do rozdrabniania: a – kruszarka walcowa, b – młyn kulowy, c – młyn wahadłowy, d – kruszarka młotkowa, e – łamacz szczękowy, f – kruszarka stożkowa

Tabela 3.10. Sposoby rozdrabniania w różnych urządzeniach

Urządzenie rozdrabniająca	Dominujący sposób rozdrabniania	Dodat. sposób rozdrabniania
Kruszarka szczękowa	zgniatanie	łamanie, ścieranie
Kruszarka stożkowa	zgniatanie	łamanie, ścieranie
Kruszarka walcowa	zgniatanie	
Gniotownik	zgniatanie ze ścieraniem	
Dezintegrator	swobodne uderzanie	
Kruszarka młotkowa	swobodne uderzanie	
Młyn kulowy	uderzanie kul	ścieranie

Mielniki:

-kule

-pręty

-cylpebsy

-bryły rudy

-kamienie.



<http://www.retsch-technology.com/>



Łamacz szczękowy

Ball mills



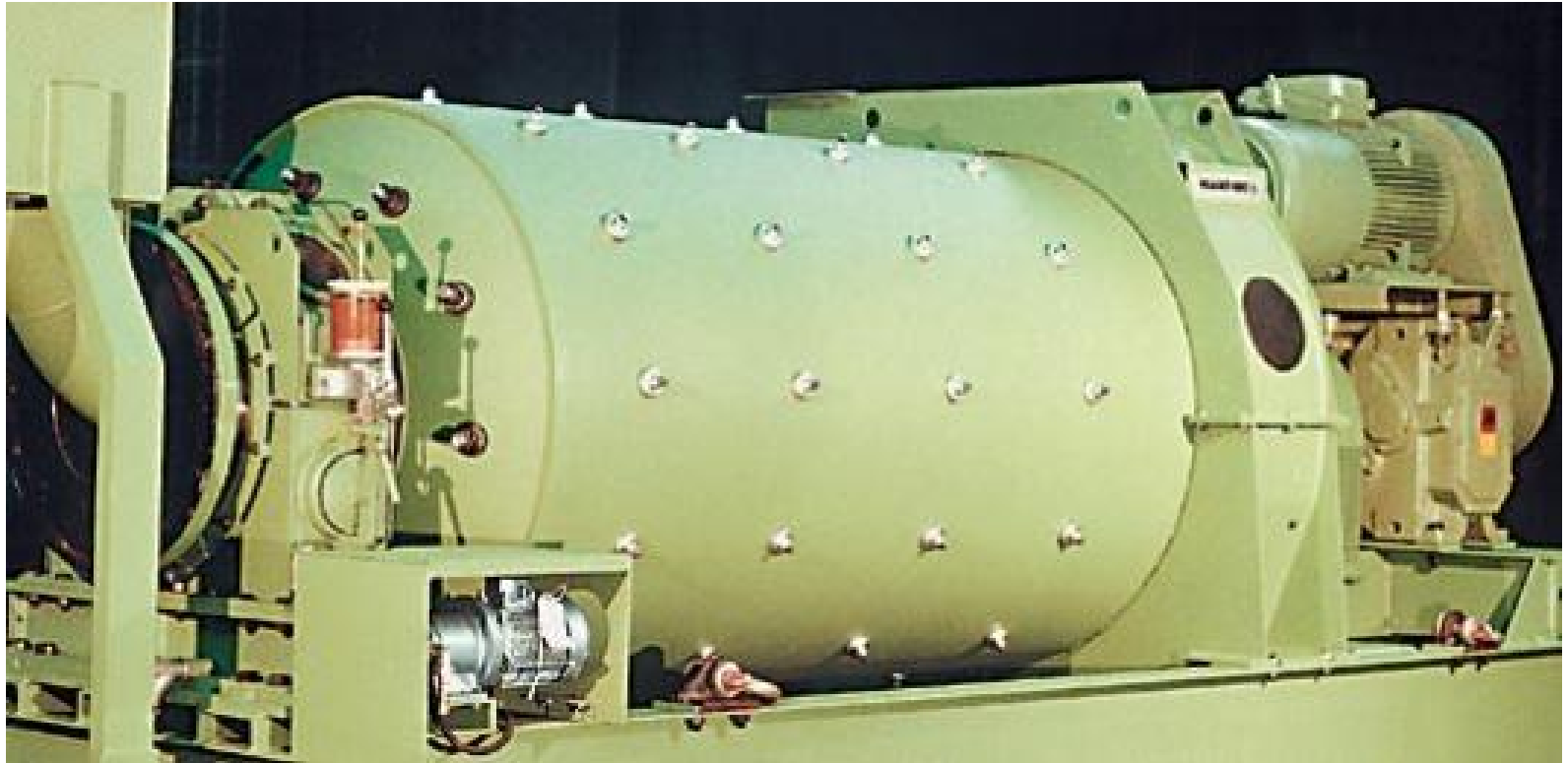
<http://ball-mill.fam.de/english/Products>

Ball mills



<http://ball-mill.fam.de/english/Products>

Rod mills



<http://ball-mill.fam.de/english/Products>

Impact hammer mills



<http://ball-mill.fam.de/english/Products>

Impact crushers

