

# **SUROWCE MINERALNE**

## **Wykład 8**

# Podział kruszyw budowlanych

- kruszywa mineralne: naturalne i łamane,
- kruszywa sztuczne (np. żużlowe),
- kruszywa z recyklingu.

Kruszywa łamane na rynku krajowym są produkowane ze skał osadowych (82%), magmowych (17%) i metamorficznych (1%) (Wolska-Kotańska, Góralczyk 2001).

# Skąły magmowe

Odpowiedni skład mineralny oraz korzystna struktura i tekstura decydują o dobrych i bardzo dobrych właściwościach fizyczno-mechanicznych tych skał. Stanowią one najlepszy materiał do produkcji kruszyw budowlanych najwyższych marek.

# Skąły metamorficzne

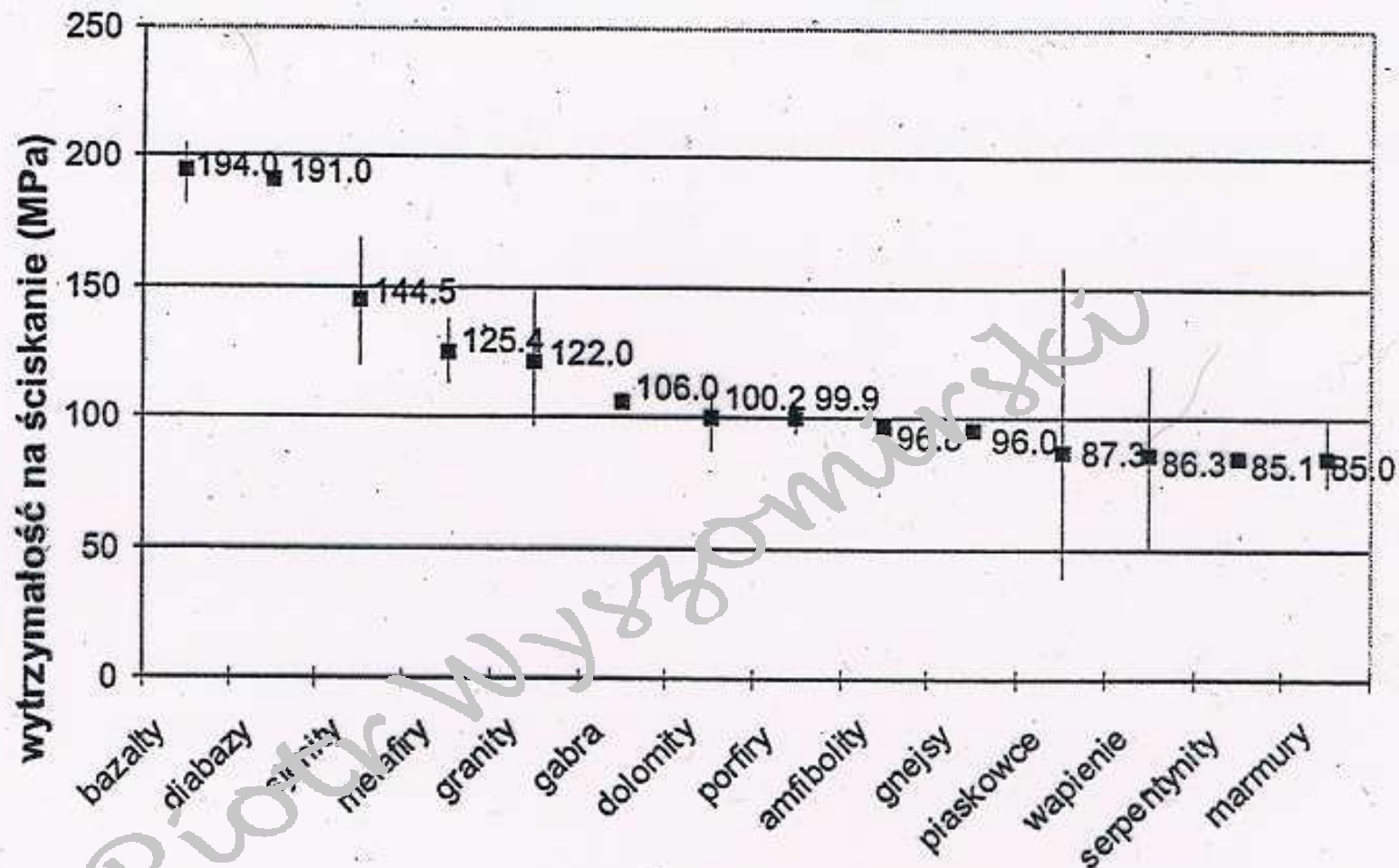
- Do produkcji kruszyw budowlanych średniej jakości wykorzystywane są głównie amfibolity.
- Stosowane są też odpady marmurów kalcytowych, które powstają podczas produkcji elementów architektonicznych i dekoracyjnych. Przerabiane są one na grysy, których jakość jest jednak stosunkowo niska.

# Skąły osadowe

- Do produkcji kruszyw łamanych wykorzystywane są głównie skąły węglanowe (wapienie, dolomity) oraz piaskowce (przede wszystkim o spoiwie krzemionkowym).

## Podział surowców skalnych pod względem wytrzymałości na ściskanie (Kamieński, Skalmowski 1957)

| Wytrzymałość na ściskanie [MPa] |           | Rodzaje skał   |
|---------------------------------|-----------|--|
| bardzo duża                     | >280      | bazalty, diabazy, kwarcyty, niektóre piaskowce   |
| duża                            | 280 – 180 | drobnoziarniste granity, dioryty, porfiry kwarcowe, bazalty, zbite wapienie, piaskowce |
| średnia                         | 180 – 80  | wapienie, piaskowce, średnio- i drobnoziarniste granity, gnejsy                        |
| niska                           | 80 – 40   | porowate wapienie, piaskowce   |
| bardzo niska                    | < 40      | tufy, kreda, bardzo porowate piaskowce   |



**Wytrzymałość na ściskanie w stanie powietrzno-suchym reprezentatywnych skał z krajowych złóż (Bromowicz i in. 2005).**

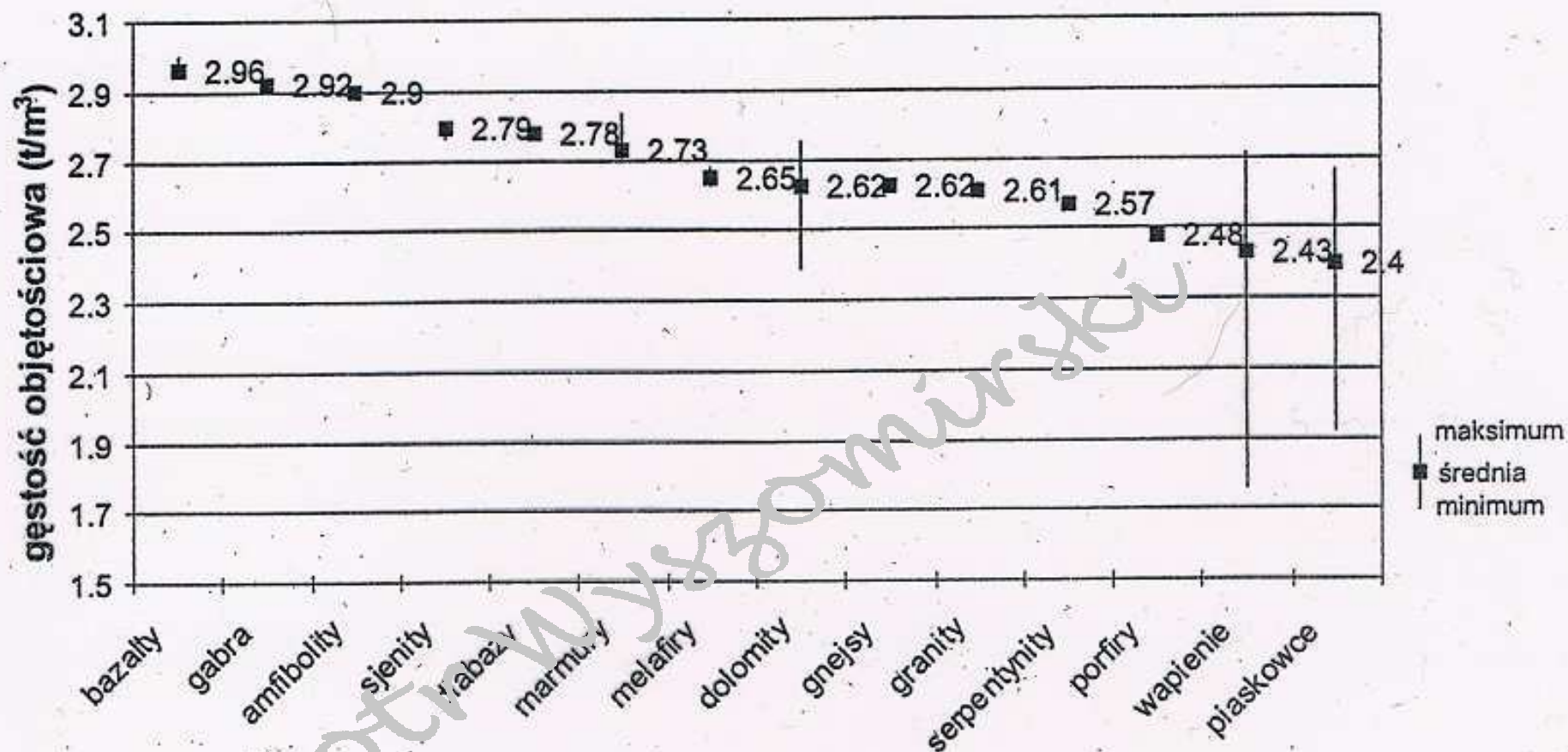
## Gęstość i gęstość pozorną (objętościowa) różnych surowców skalnych (Kamieński, Skalmowski 1957)

| Rodzaj skały     | Gęstość $c_w$<br>[g/cm <sup>3</sup> ] | Gęstość pozorną $c_o$<br>[g/cm <sup>3</sup> ] |
|------------------|---------------------------------------|---|
| • <b>Zwięzłe</b> |                                       |   |
| Bazalt           | 2,934 – 3,087                         | 2,929 – 3,060                                 |
| Granit           | 2,582 – 2,685                         | 2,262 – 2,671                                 |
| Porfir           | 2,586 – 2,656                         | 2,193 – 2,620                                 |
| Wapień           | 2,701 – 2,840                         | 1,945 – 2,699                                 |
| Piaskowiec       | 2,593 – 2,715                         | 1,904 – 2,600                                 |
| • <b>Luźne</b>   |                                       |   |
| Piasek           | 2,580 – 2,660                         | 1,310 – 1,570                                 |
| kwarcowy         | 2,620 – 2,645                         | 1,400 – 1,660                                 |
| Żwir             |                                       |   |

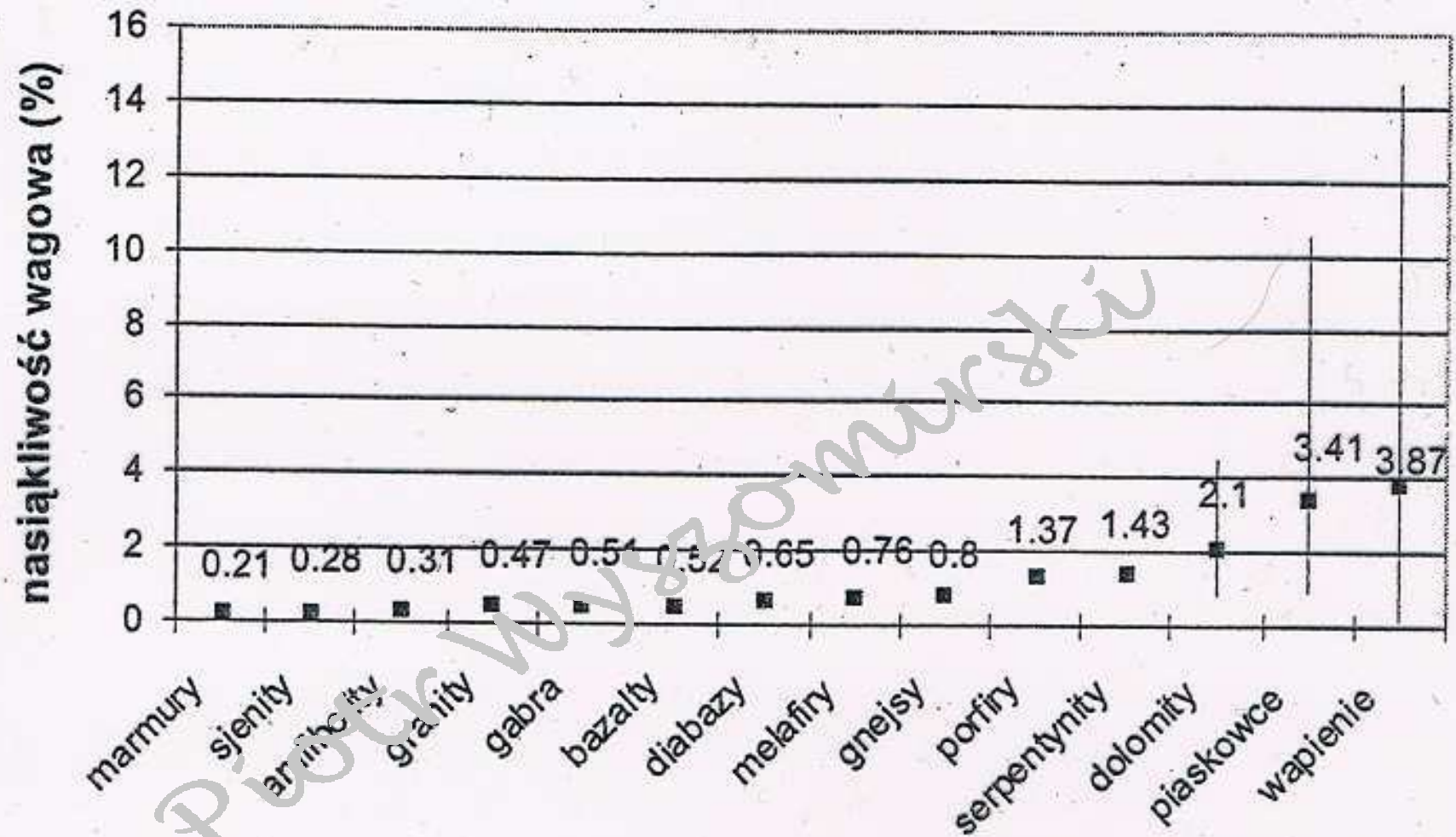


## Szczelność niektórych surowców skalnych (Kamieński, Skalmowski 1957)

| Rodzaj skały | Szczelność    |
|--------------|---------------|
| Granit       | 0,864 – 0,998 |
| Porfir       | 0,845 – 0,996 |
| Bazalt       | 0,971 – 0,999 |
| Piaskowiec   | 0,761 – 0,973 |
| Wapień       | 0,716 – 0,994 |



Gęstość objętościowa reprezentatywnych skał z krajowych złóż (Bromowicz i in. 2005).



**Nasiąkliwość wagowa reprezentatywnych skał z krajowych złóż (Bromowicz i in. 2005).**

# Oznaczenie mrozoodporności

- Polega ono na wielokrotnym zamrażaniu (-20°C, 6 h) próbek w powietrzu i jej odmrażaniu (+18°C, 6 h) w wodzie. Maksymalną liczbę cykli określa zleceniodawca. Każda próbka ma kształt prostopadłościanu o wymiarach 50x50x300 mm.
- O mrozoodporności można też sądzić na podstawie zachowania się próbek podczas ich nasycania 14%-owym roztworem  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  i – następnie – suszenia.
- Miarą mrozoodporności surowców skalnych jest też ich niska nasiąkliwość (< 1%).

# NADAWA

(materiał z odstrzału złoża skalnego)



**I KRUSZENIE**  
(kruszarka)



**SORTOWNIK**

Miał (0-4 mm)

Klinter (4-31,5 mm)

Fluczeń (31,5-63 mm)

Kruszywo łamane zwykłe



Kruszywo łamane granulowane

**SORTOWNIK II**

**II KRUSZENIE**  
(granulator)



Grysy

Piasek łamany

(2-31,5 mm) (0-2 mm)

Rys. 1  
Przykładowy cykl produkcyjny łamanych kruszyw drogowych.

*Piotr Wysomirski*

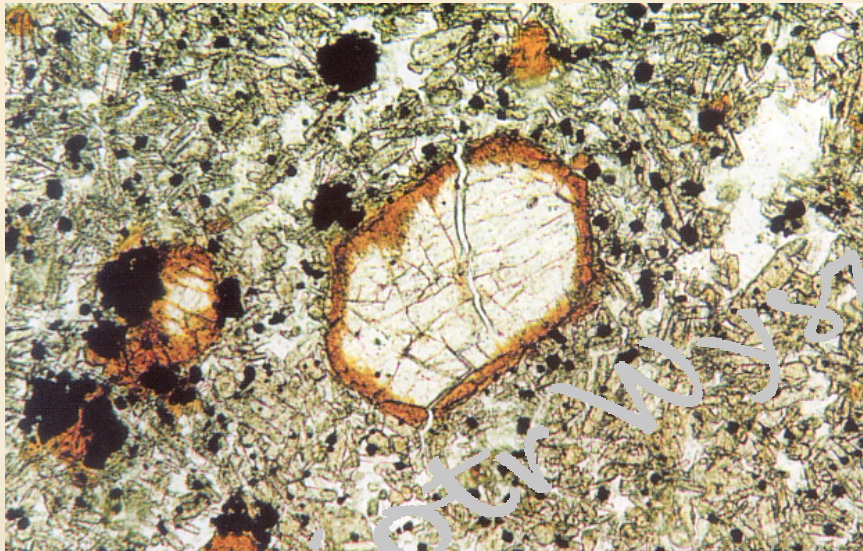


**Bazalty są wykorzystywane głównie do produkcji różnych sortymentów kruszywa łamanego.**

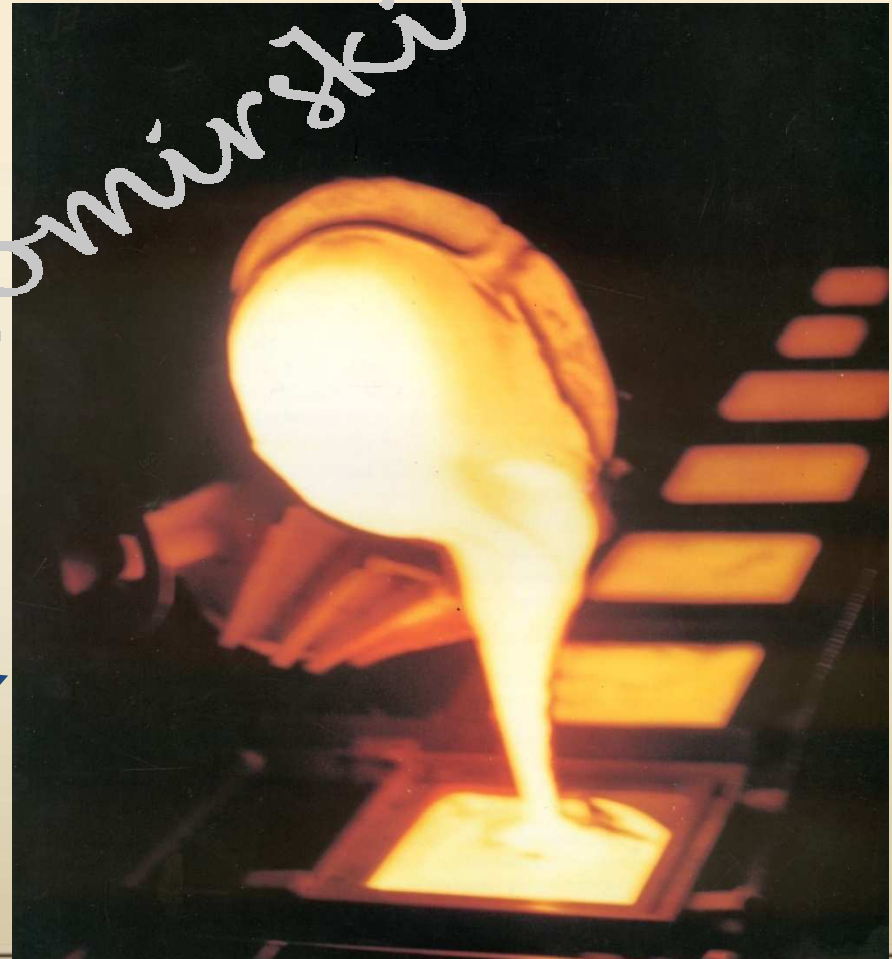




**Ważnym zastosowaniem bazaltów jest też produkcja materiałów izolacyjnych (wełna mineralna) oraz trudnościeralnych (leizna bazaltowa).**



**Otrzymuje się je w procesie petrugicznym.**

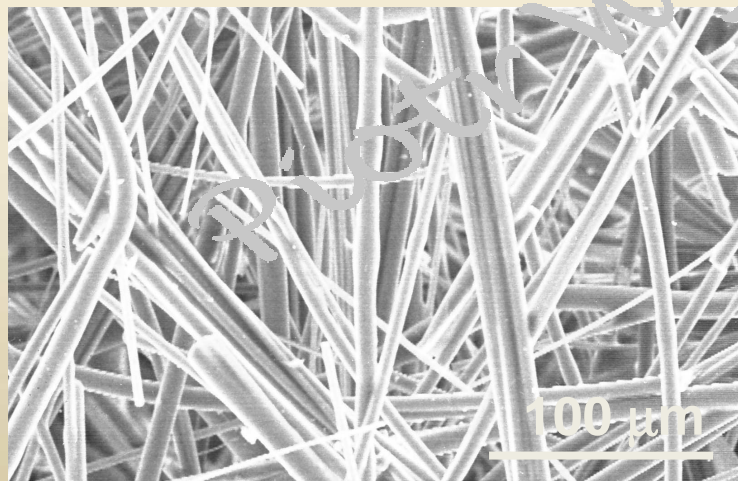
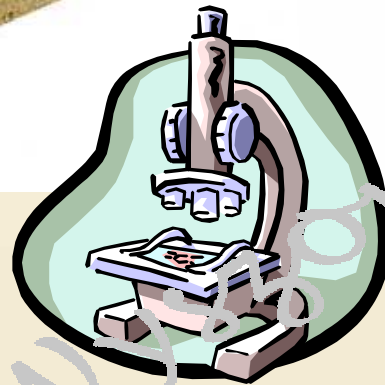


Autor: prof. dr hab. inż. Piotr Wyszomirski

**Wyroby z leizny bazaltowej odznaczają się wieloma korzystnymi cechami mechanicznymi, termicznymi i wysoką odpornością chemiczną na działanie zasad i kwasów.**

| Właściwości topionego i krystalizowanego bazaltu |                                  | Wartość                |
|--|----------------------------------|------------------------|
| Gęstość  | g/cm <sup>3</sup>                | 2,9-3,1                |
| Nasiąkliwość                                     | %                                | 0                      |
| Wytrzymałość na ściskanie                        | N/m <sup>2</sup>                 | ok. 450                |
| Ścieralność na tarczy Boehmego                   | cm <sup>3</sup> /cm <sup>2</sup> | 0,06-0,12              |
| Maksymalna odporność termiczna                   | °C                               | 300-350                |
| Liniowy współczynnik rozszerzalności termicznej  | 1/K                              | 6-8 · 10 <sup>-6</sup> |
| Współczynnik przewodnictwa cieplnego             | W/mK                             | 1,1-1,6                |





**Cieńsze włókna wykazują  
mniejszą podatność do  
przekryształowania aniżeli  
grubsze.**

## Optymalny skład chemiczny bazaltów do produkcji wełny mineralnej:

|                         |             |
|-------------------------|-------------|
| $\text{SiO}_2$          | 41-44% mas. |
| $\text{Al}_2\text{O}_3$ | 10,5-14,5   |
| $\text{CaO}$            | 11,5-14,5   |
| $\text{MgO}$            | 8,5-14,0    |

Kamieniołom bazaltu  
w Sulikowie  
k. Lubania Śląskiego



## **Kruszywa żuźlowe z hutnictwa żelaza**

**Są one wykorzystywane do budowy dróg i do wytwarzania betonów. Do tego celu są stosowane głównie żuźle stalownicze i – w małym stopniu – żuźle wielkopiecowe. Przed wykorzystaniem muszą być one sezonowane przez okres 6-12 miesięcy tak, aby zaszły w nich – związane ze zmianami objętości – procesy rozpadu krzemianów wapnia.**

# NAJWAŻNIEJSZE SUROWCE CERAMICZNE

- surowce krzemionkowe, tj. zasobne w  $\text{SiO}_2$ ,
- surowce ilaste,
- surowce glinowe, glinokrzemianowe i zawierające alkalia,
- surowce wapniowe, tj. zawierające  $\text{CaO}$ ,
- surowce magnezowe, tj. zawierające  $\text{MgO}$ ,
- surowce chromowe, tj. zasobne w  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,
- surowce cyrkonowe,
- grafit.



# SUROWCE KRZEMIONKOWE

Są one reprezentowane głównie przez skały osadowe, zarówno luźne (piaski kwarcowe), jak i zwięzłe (piaskowce kwarcytowe, chalcedony itp.). Wykorzystywane są też skały pochodzenia pomagmowego, np. hydrotermalnego (kwarc żyłowy) oraz niektóre skały metamorficzne (kwarcyty, łupek kwarcytowy).

# Piaski szklarskie

- **Produkowane są z piasków kwarcowych o wybitnie wysokiej zawartości  $\text{SiO}_2$  oraz nieznacznym udziale tlenków barwiących (głównie  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  i  $\text{TiO}_2$ ), a także innych składników ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ).**
- **Uziarnienie piasków szklarskich mieści się w przedziale 0,1-0,5 mm, a nawet 0,1-0,315 mm (dla klasy specjalnej).**

# Skład chemiczny piasków szklarskich (BN-80/6811-1)

| Klasa piasku | Zawartość %              |                                |                  |                                |     |                 |   |
|--------------|--------------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|-----|-----------------|---|
|              | SiO <sub>2</sub><br>min. | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO | SO <sub>3</sub> | Na <sub>2</sub> O<br>+ K <sub>2</sub> O |
|              | maks.                    |                                |                  |                                |     |                 |   |
| Sp           | 99,5                     | 0,006                          | 0,02             | 0,15                           | 0,1 | 0,01            | nie normuje się                         |
| 1            | 99,5                     | 0,010                          | 0,02             | 0,20                           | 0,1 | 0,01            |   |
| 1 a          | 99,4                     | 0,015                          | 0,03             | 0,30                           | 0,1 | 0,01            |   |
| 2            | 99,3                     | 0,020                          | 0,05             | 0,40                           | 0,1 | 0,01            |   |
| 3            | 99,5                     | 0,030                          | 0,08             | 0,80                           | 0,2 | 0,02            |   |
| 4            | 98,5                     | 0,050                          | 0,08             | 0,80                           | 0,2 | 0,02            |   |
| 5            | 97,5                     | 0,080                          | 0,10             | 0,80                           | 0,3 | 0,05            |   |
| 6            | 95,0                     | 1,000                          | 0,20             | 3,50                           | 1,5 | 0,15            |   |

## Przykłady zastosowań piasków szklarskich

| Klasa piasku | Zastosowanie  |
|--------------|---|
| Sp           | szkło przepuszczające promienie nadfioletowe, krzemionkowe, optyczne                  |
| 1            | szkło optyczne, kryształowe   |
| 2            | szkło półkryształowe, stołowe bezbarwne, grubościennie                                |
| 3            | szkło stołowe dmuchane i prasowane; opakowania szklane bezbarwne, kształtki budowlane |
| 4            | szkło okienne, walcowane, techniczne  |
| 5            | opakowania szklane walcowane  |
| 6            | opakowania szklane barwne, izolatory szklane  |



# **Na szybkość topienia piasków kwarcowych wyraźny wpływ wywiera zjawisko zdefektowania ziaren kwarcu.**

**Defekty można podzielić na dwie grupy:**

## **1. defekty strukturalne:**

- **lokalna deformacja sieci przestrzennej,**
- **budowa mozaikowa ziaren,**

## **2. defekty ziaren:**

- **budowa agregatowa ziaren,**
- **pełnięcia,**
- **wrostki,**
- **inkluzje ciekłe i gazowe.**

## **Tlenki barwiące ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , $\text{TiO}_2$ ) mogą występować jako:**

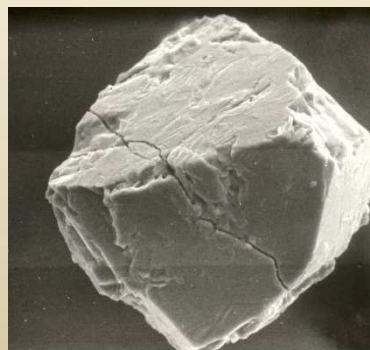
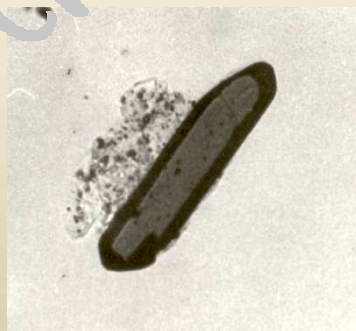
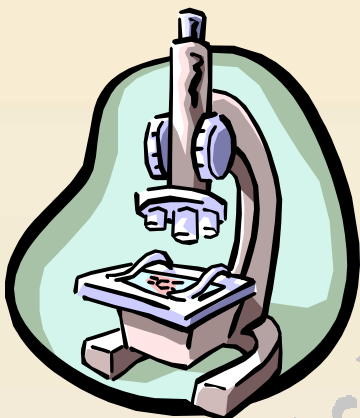
- **samodzielne ziarna tlenków i wodorotlenków żelaza o wielkości poniżej 0,06 mm.**
- **tlenki i wodorotlenki żelaza tworzące otoczki na powierzchni ziaren kwarcu lub wypełniające szczeliny spękań tych ziaren,**
- **składniki chemiczne minerałów ilastych, minerałów ciężkich, wrostków innych minerałów w ziarnach kwarcu, mik i skaleni stanowiących relikty skał macierzystych.**

## **Minerały ciężkie**

są minerałami allogenicznymi o gęstości  $> 3,0 \text{ g/cm}^3$ , odpornymi na transport i wietrzenie. Najczęściej występującymi w piaskach szklarskich minerałami ciężkimi są: cyrkon, rutil i pozostałe odmiany polimorficzne  $\text{TiO}_2$  (anataz, brookit), a także staurolit, minerały grupy andalazytu, fosforanowe minerały pierwiastków ziem rzadkich (ksenotym, monacyt), granaty, magnetyt, ilmenit, oraz - niekiedy - turmalin, biotyt, pirokseny i amfibole.



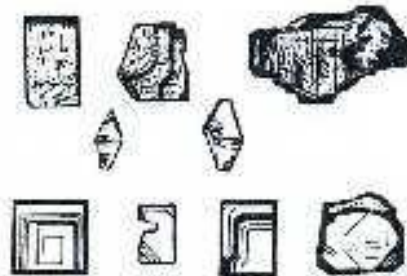
**Minerały ciężkie wydzielone z piasków szklarskich są m.in. przedmiotem badań przy użyciu scanningowego mikroskopu elektronowego SEM. Ich ziarna najczęściej mają wielkość rzędu dziesiątych części mm.**



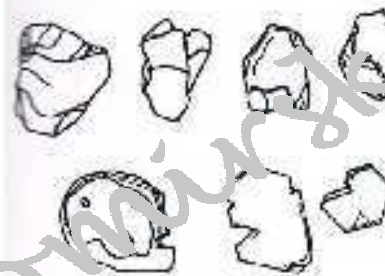
# Charakterystyczne kształty ziaren pospolitych minerałów ciężkich



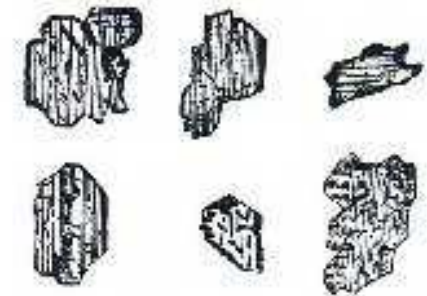
Amfibol



Anataz



Biotyt



Brookit



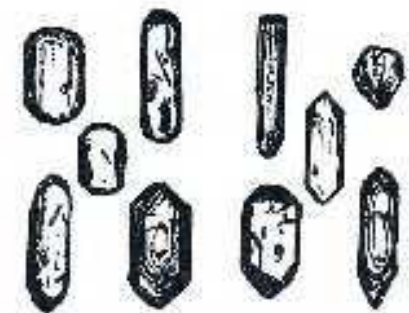
Andaluzyt



Apatyt



Chloryt



Cyrkon



# Piaski szklarskie w Polsce



Uproszczona mapa występowania w Polsce piasków szklarskich (wg Niccia i Potęby 2003; zmodyfikowana): I – obszary złóżowe w utworach kredowych (A – rejon Osiecznicy, B – Niecka Tomaszowska), II – obszary złóżowe w utworach trzeciorzędowych (C – rejon Lutynki, D – Roztocze, E – rejon tarnobrzeski, F – rejon pomorski, G – rejon Ostrzeszowa), III – ważniejsze złoża w utworach kredowych i trzeciorzędowych (1 – Koziejówka, 2 – Tereszpól, 3 – Sulechowo, 6 – Puck, 7 – Bełchatów), IV – ważniejsze złoża w utworach czwartorzędowych (4 – Ujście Noteckie, 5 – Wyszków-Mostówka).



**Kopalnia i Zakład Przeróbczy Piasków Szklarskich  
„Osiecznica” (Dolny Śląsk)**





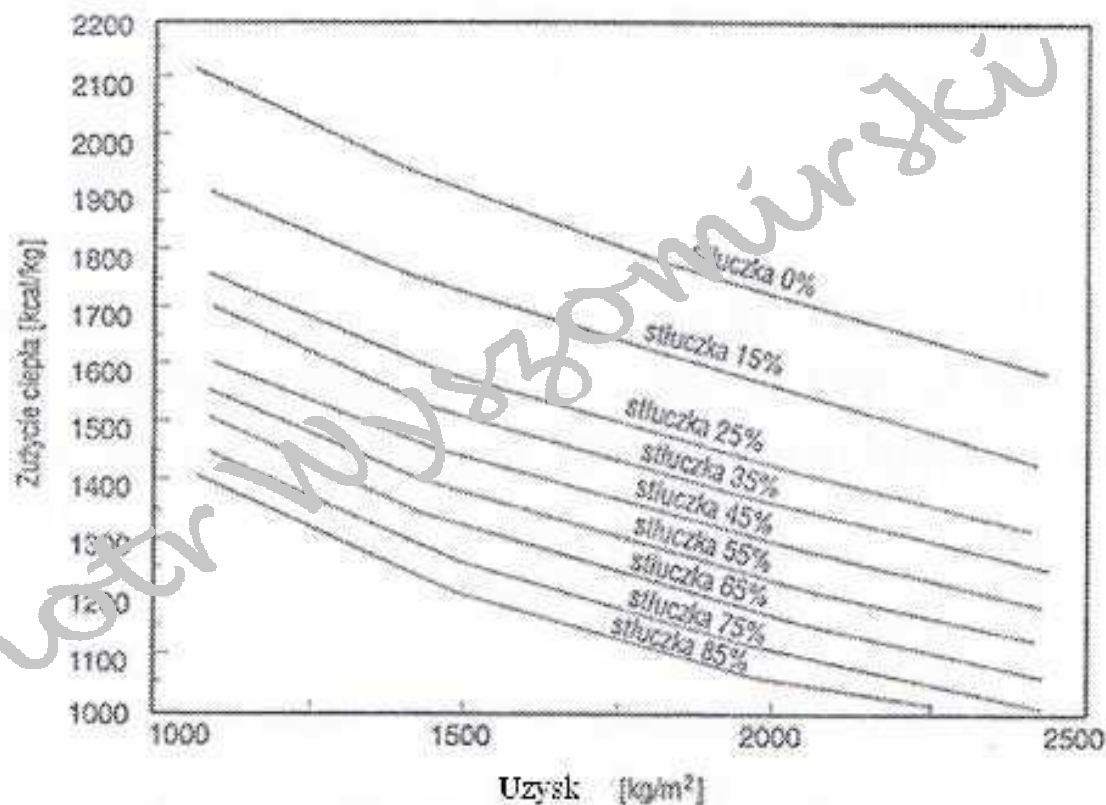
**Węzeł wstępnego kruszenia piaskowca kwarcowego zlokalizowany bezpośrednio w wyrobisku kopalni „Osiecznica” (Dolny Śląsk).**



**Zużycie piasków szklarskich może zostać ograniczone m.in. w wyniku recyklingu opakowań szklanych. Do końca 2014 r. Polska jest zobowiązana – na podstawie dyrektyw Unii Europejskiej w 1994 r. – do zapewnienia tego recyklingu na poziomie nie mniejszym niż 60%.**

**Jak dotąd, koszt pozyskiwania, uzdatniania i transportu stłuczki szklanej przewyższa koszt surowców pierwotnych (tj. mineralnych i chemicznych) do produkcji szkła. Poprawa w tym zakresie nastąpi w wyniku aktualnie wprowadzanego obowiązku selektywnej zbiórki odpadów.**

**Stosowanie stłuczki szklanej przyczynia się też do znacznego zmniejszenia zużycia energii cieplnej w procesie topienia szkła.**



Zużycie ciepła w piecu o powierzchni 100m<sup>2</sup>, w zależności od wytopu masy szklanej z różnym udziałem stłuczki szklanej w wytapianej masie (Gajewski 2000).

**Ważnym użytkownikiem piasków kwarcowych jest też odlewnictwo. Stosuje się w nim naturalne piaski formierskie, które zawierają – w porównaniu z piaskami szklarskimi – podwyższoną ilość innych minerałów (np. węglanowych)**

### **Podstawowe parametry piasków formierskich**

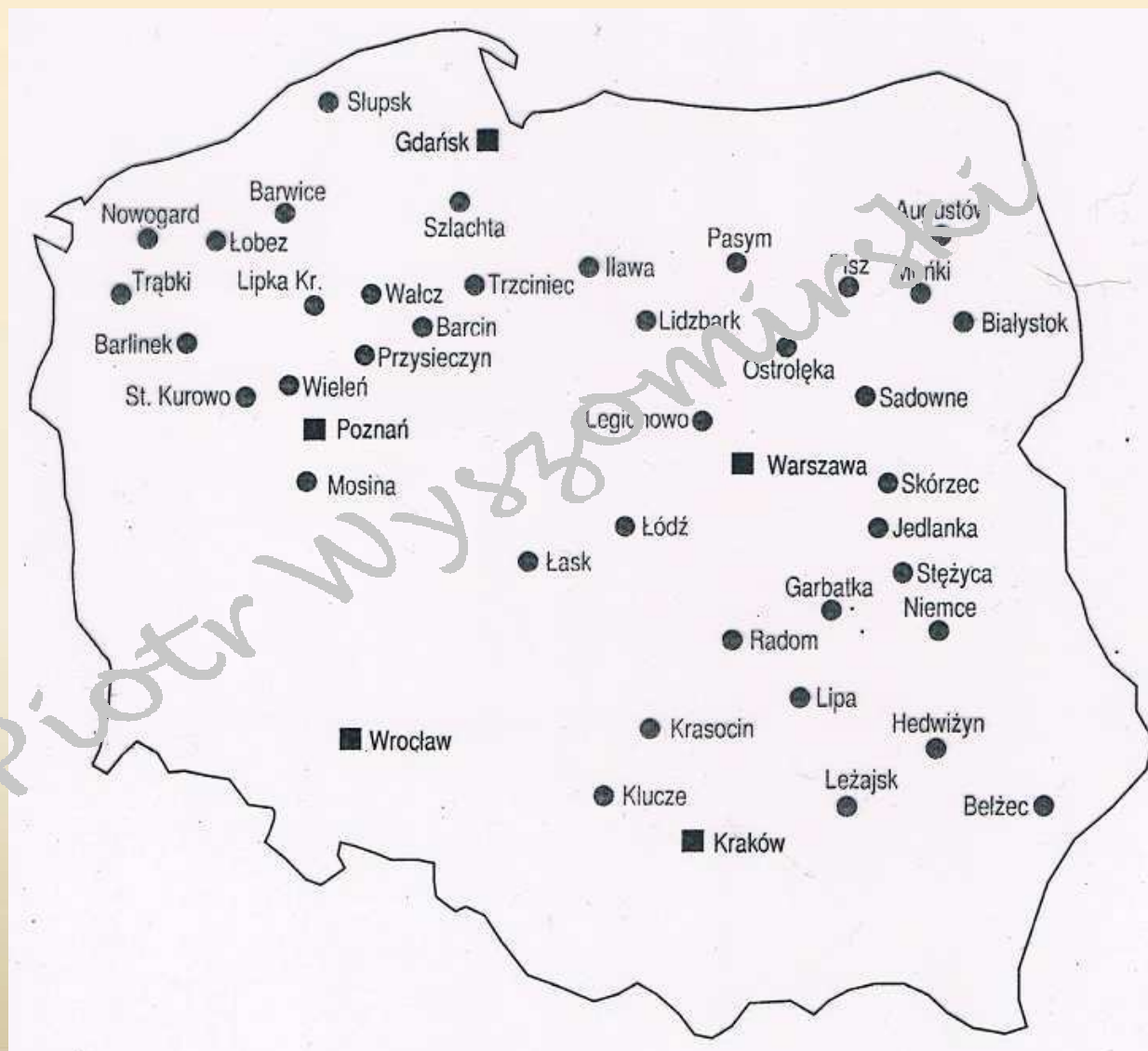
| Rodzaj piasku            | Nazwa piasku  | Klasa  | Zawartość   |                         |                  | Minimalna temperatura spiekania °C |
|--------------------------|---------------|--------|-------------|-------------------------|------------------|------------------------------------|
|                          |               |        | lepiszcza % | SiO <sub>2</sub> min. % | węglanów maks. % |                                    |
| Uszlachetniony<br>Surowy | kwarcowy      | 1K, 2K | ≤0,5        | 96                      | 0,5              | 1400                               |
|                          | kwarcowy      | 3K, 4K | ≤0,2        | 96                      | 1,0              | 1350                               |
| O lepiszczu naturalnym   | chudy         | C      | 2 – 8       | –                       | 1,0              | –                                  |
|                          | półtłusty     | P      | 8 – 15      | –                       | 1,0              | –                                  |
|                          | tłusty        | T      | 15 – 25     | –                       | –                | –                                  |
|                          | bardzo tłusty | G      | 25 – 35     | –                       | –                | –                                  |
|                          |               |        |             |                         |                  |                                    |

**Technologia wyrobów wapienno-piaskowych i betonów komórkowych stawia umiarkowane wymagania, które spełnia wiele piasków pospolicie występujących w Polsce.**

**Piaski do produkcji wyrobów wapienno-piaskowych i betonów komórkowych**

| Wymagania                            | Wyroby wapienno-piaskowe (S. Volfke 1986) |  | Betony komórkowe |
|--------------------------------------|---|--|------------------|
|                                      | %   |  |                  |
| Zawartość:                           |   |  |                  |
| SiO <sub>2</sub>                     | min.                                      | 80                                       | 80               |
| Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O | maks.                                     | 0,5                                      |                  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>       | maks.                                     | 5,0                                      |                  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>       | maks.                                     | 1,5                                      |                  |
| MgO                                  | maks.                                     | 3,0                                      |                  |
| zanieczyszczeń                       |   |  |                  |
| – organicznych                       |   | poniżej barwy wzorcowej<br>PN-66/N-06714 |                  |
| – pylasto-ilastych                   | maks.                                     | 10,0                                     | 5,0              |
| Udział frakcji:                      |   |  |                  |
| 5,0 – 2,5 mm                         | maks.                                     | 5 – 10                                   | 15               |
| 2,5 – 0,5 mm                         | maks.                                     | 30,0                                     |                  |
| 0,5 – 0,05 mm                        | min.                                      | 65,0                                     |                  |

# Krajowi producenci wyrobów wapienno-piaskowych



Autor: prof. dr hab. inż. Piotr Wyszomirski

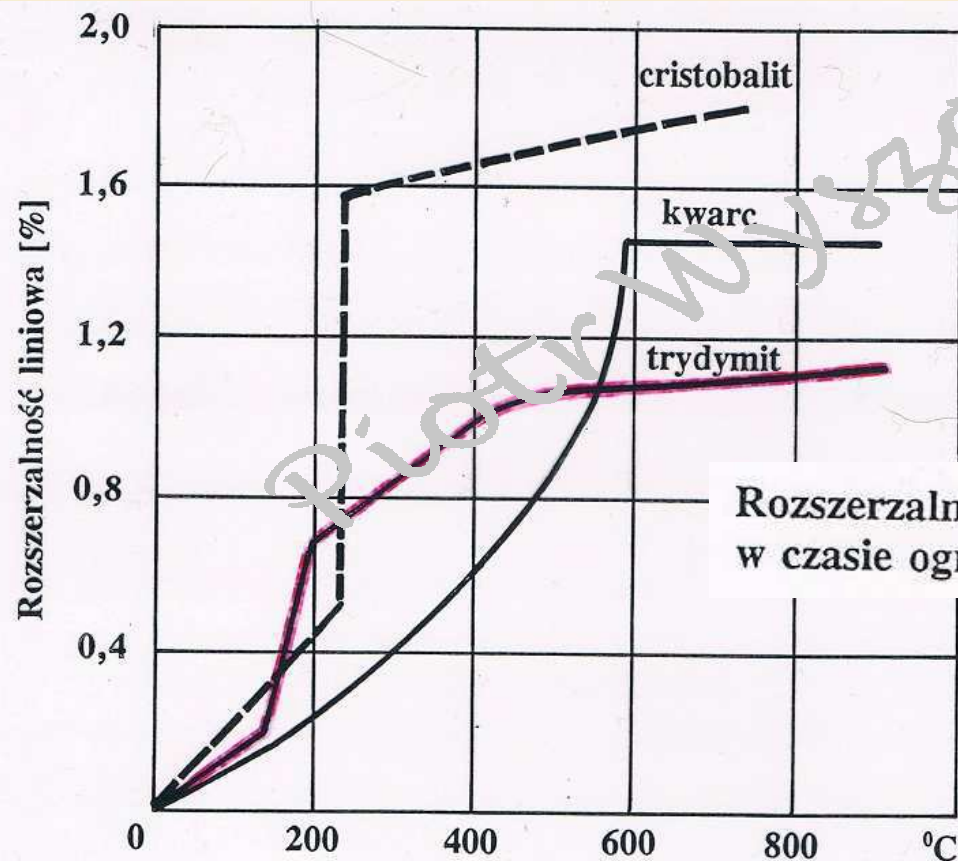


## Zwięzłe surowce krzemionkowe - kwarcyty

Petrograficzna nazwa *kwarcyty* odnosi się do metamorficznych skał krzemionkowych zbudowanych niemal wyłącznie z kwarcu. W technice tym samym określeniem obejmuje się wszystkie skały wybitnie zasobne w  $\text{SiO}_2$ , które są przydatne do produkcji krzemionkowych materiałów ogniotrwałych.

## Gęstość poszczególnych odmian krystalicznych SiO<sub>2</sub>

| Odmiana wysokotemperaturowa |                              | Odmiana niskotemperaturowa |                              |
|-----------------------------|------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| Nazwa                       | Gęstość (g/cm <sup>3</sup> ) | Nazwa                      | Gęstość (g/cm <sup>3</sup> ) |
| α-cristobalit               | 2,21-2,23                    | β-cristobalit              | 2,32                         |
| α-trydymit                  | 2,23                         | β-trydymit                 | 2,26-2,28                    |
|                             |                              | γ-trydymit                 | 2,27                         |
| α-kwarc                     | 2,51-2,53                    | β-kwarc                    | 2,65                         |



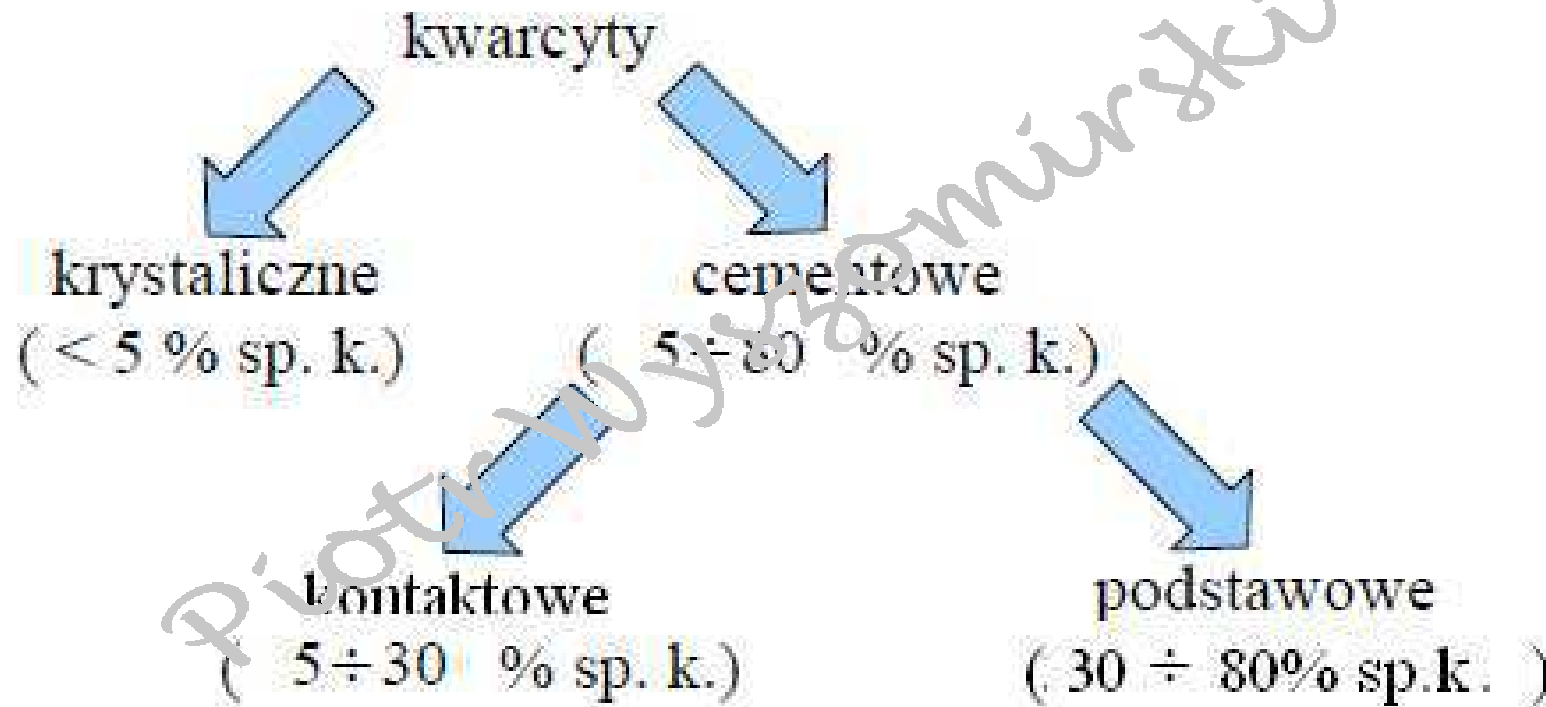
Rozszerzalność liniowa kwarcu, trydymitu i cristobalitu w czasie ogrzewania (Ostrowski, Drożdż 1963).



**Odmiany surowców krzemionkowych  
wyróżniane ze względu na szybkość przemian podczas ogrzewania  
(Z.Tokarski 1960)**

| Odmiany                         | Gęstość po wypaleniu<br>przez 1 h, w 1460°C g/cm <sup>3</sup> |
|---------------------------------|---|
| Bardzo wolno przemieniające się | > 2,50  |
| Wolno przemieniające się        | 2,50 – 2,45   |
| Średnio przemieniające się      | 2,45 – 2,40   |
| Szybko przemieniające się       | < 2,40  |

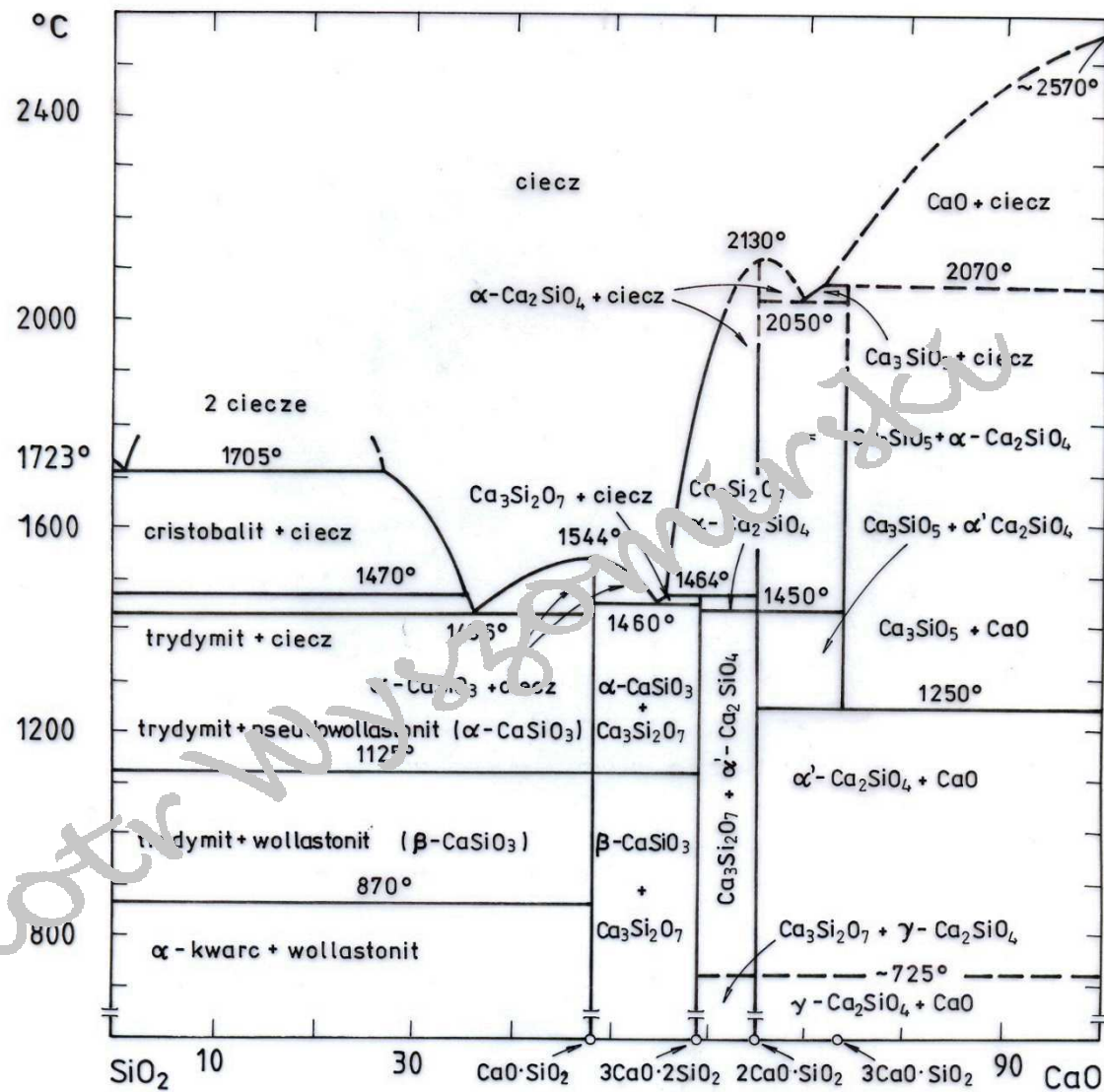
# Podział kwarcytów ze względu na ich strukturę



\* sp. k. - spoiwo krzemionkowe

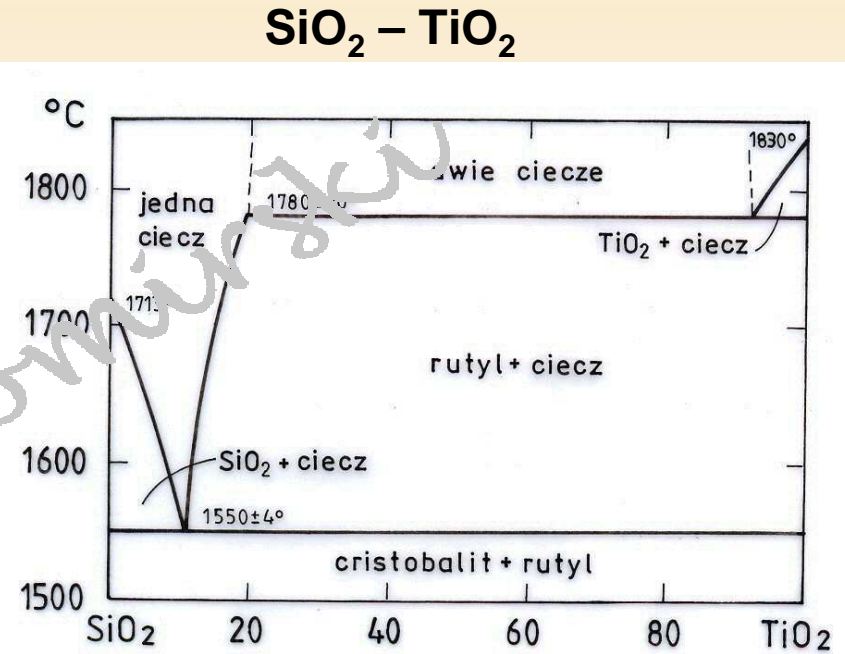
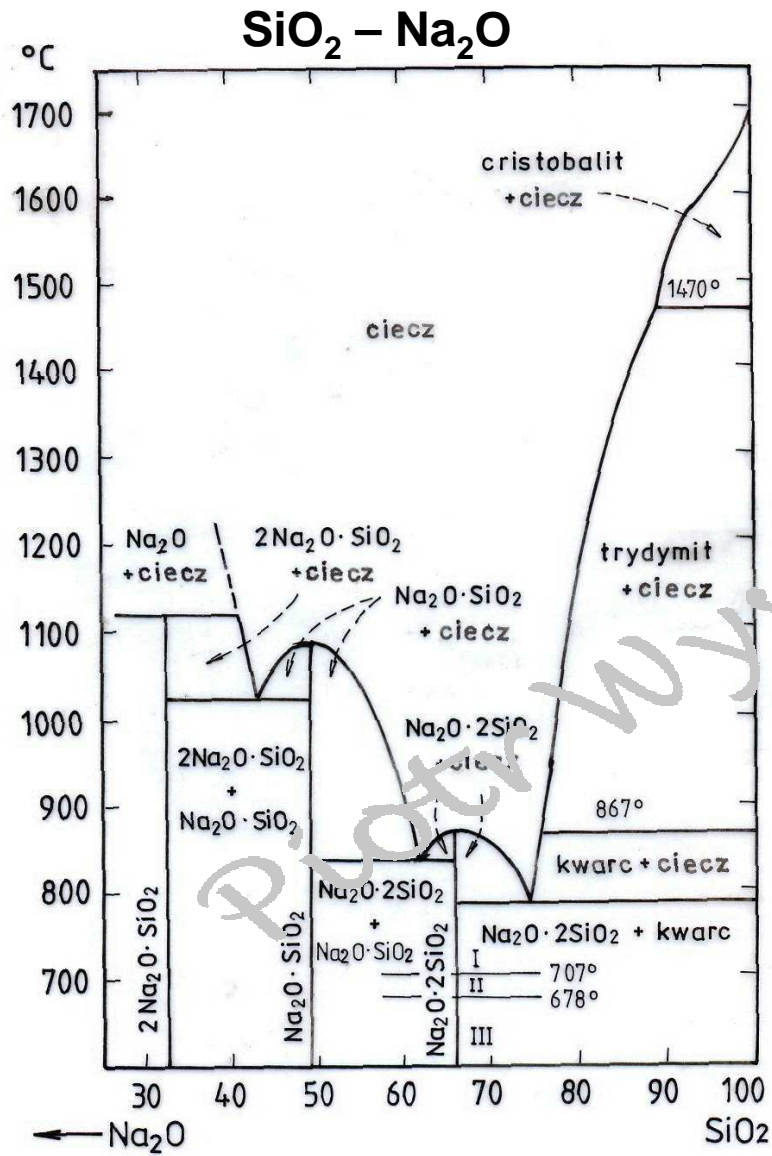
# Mineralizatory

- **Substancje, których niewielki dodatek przyspiesza przebieg procesów zachodzących w czasie wypalania niektórych surowców i tworzyw, a także stopiania i krystalizacji stopów.**
- **Mineralizatorami ułatwiającymi powstawanie trydymitu podczas wypalania kwarcytów są tlenki wapnia i żelaza.**



Układ dwuskładnikowy  $\text{SiO}_2 - \text{CaO}$  (Levin, i in. 1974)

# Układy dwuskładnikowe



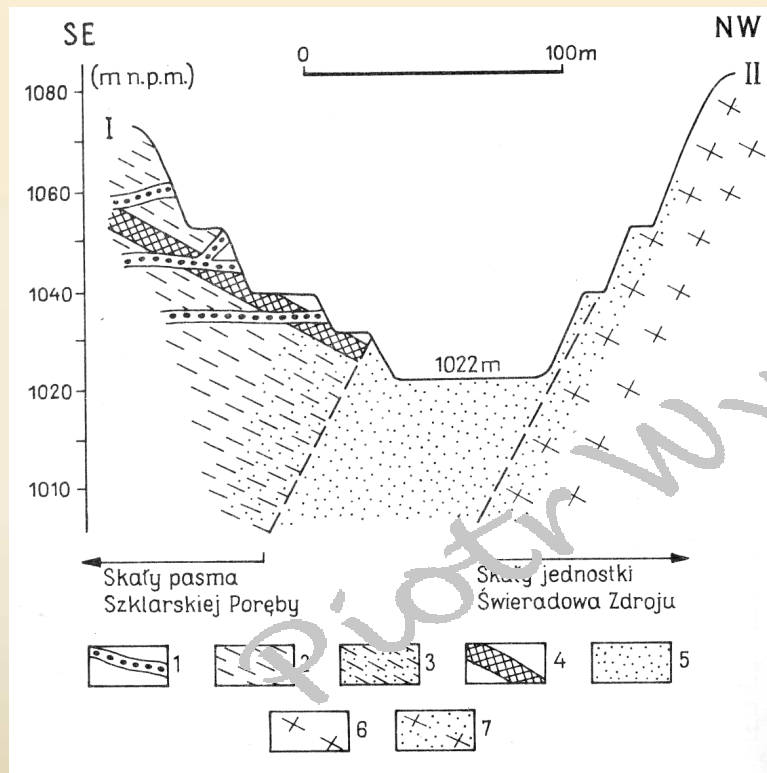


## Najważniejsze parametry jakościowe surowców krzemionkowych do produkcji krzemionkowych materiałów ogniotrwałych (wg normy BN-74/6761-08)

| Wymagania   | Kwarcyty  |         | Piaskowce kwarcytowe |         |         | Kwarc żyłowy |         |
|---|-----------|---------|----------------------|---------|---------|--------------|---------|
|   | KwSi99    | KwSi98  | KpSi99               | KpSi98  | KpSi97  | KSi99        | KSi98   |
| SiO <sub>2</sub> w stanie surowym,<br>min. (%)                          | 99        | 98      | 99                   | 98      | 97      | 99           | 98      |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> +alkalia,<br>maks. (%) | 0,5       | 0,8     | 0,5                  | 1,0     | 2,2     | 0,4          | 1,0     |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> w stanie surowym,<br>maks. (%)           | 0,1–0,5   | 0,1–0,5 | 0,1–0,4              | 0,3–0,6 | 0,4–0,8 | 0,1–0,3      | 0,3–0,5 |
| Gęstość po wypaleniu<br>w 1460°C (g/cm <sup>3</sup> )                   | 2,55–2,63 |         | 2,55–2,63            |         |         | 2,55–2,60    |         |
| Gęstość pozorna po<br>wypaleniu w 1460°C<br>(g/cm <sup>3</sup> )        | 2,48–2,55 |         | 2,35–2,50            |         |         | 2,40–2,50    |         |

# Zwięzłe surowce krzemionkowe – kwarc żyłowy

## Przekrój złoża kwarcu żyłowego Stanisław na Izerskich Garbach



Kwarc żyłowy jest stosowany m.in. do produkcji grysów i mączek kwarcowych wysokiej czystości dla przemysłu ceramicznego.

|                         |                  |
|-------------------------|------------------|
| $\text{SiO}_2$          | $\geq 99\%$ wag. |
| $\text{Al}_2\text{O}_3$ | $< 0,25$         |
| $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | $\leq 0,05$      |
| $\text{TiO}_2$          | $\leq 0,02$      |

1 – żyły granitów i pegmatytów, 2 – hornfelsy,  
3 – skwarcowane hornfelsy, 4 – skarny, 5 – kwarc żyłowy,  
6 – gnejsy, skwarcowane gnejsy

## Surowiec kwarcowy i jego skład chemiczny (BN-80/6714-19)

| Składniki                      |       | Gatunek |                 |      |                 |      |                 |      |
|--------------------------------|-------|---------|-----------------|------|-----------------|------|-----------------|------|
|                                |       | E       | 1               | 2    | 3               | 4    | 5               | 6    |
| SiO <sub>2</sub>               | min.  | 99,5    | 98,5            | 98,5 | 97,5            | 95,0 | 90,0            | 80,0 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | maks. | 0,01    | 0,06            | 0,10 | 0,25            | 1,50 | nie normuje się |      |
| TiO <sub>2</sub>               | maks. | 0,01    | 0,02            | 0,07 | nie normuje się |      |                 |      |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | maks. | 0,3     | nie normuje się |      |                 |      |                 |      |