

SUROWCE I RECYKLING

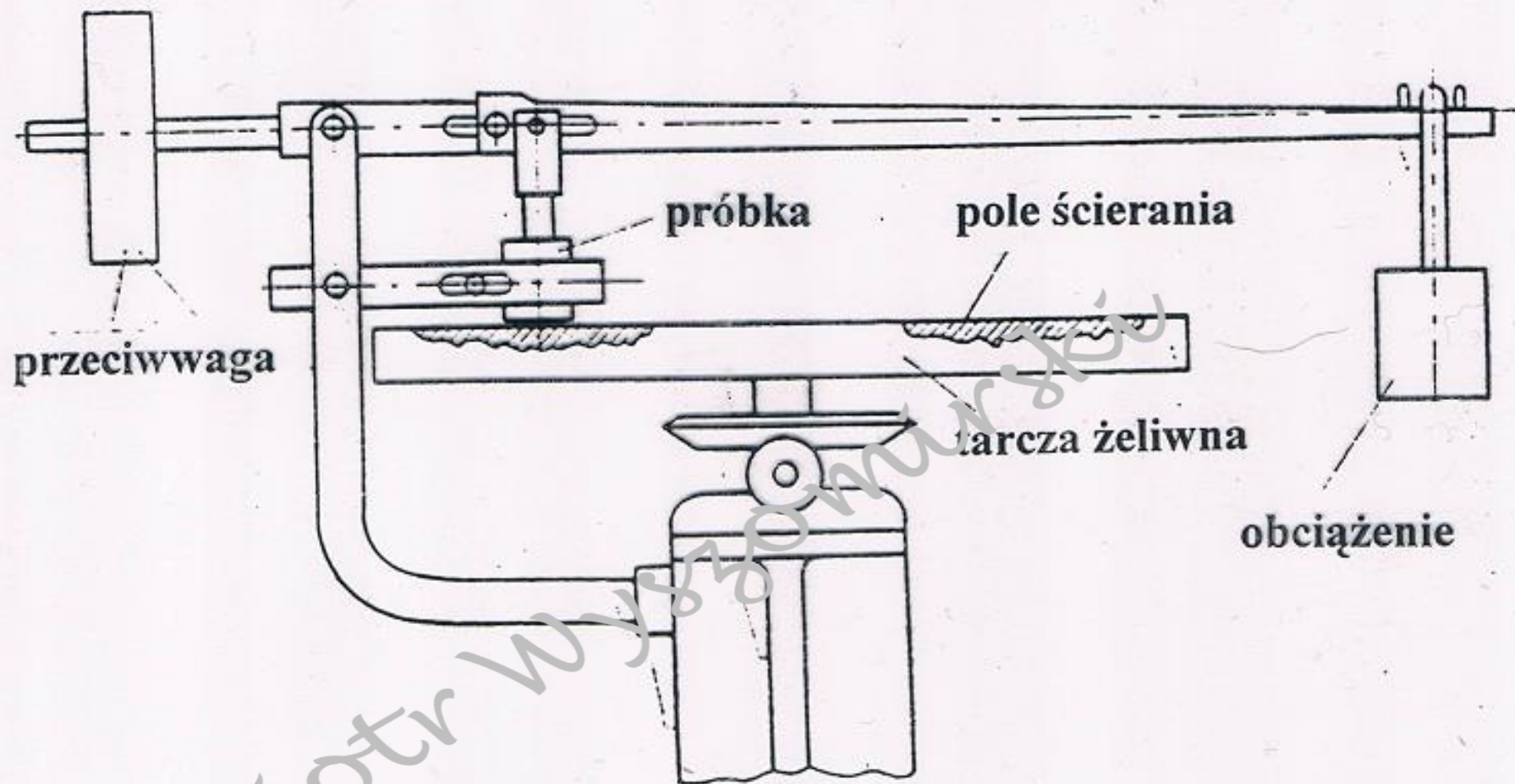
Wykład 7

Parametry fizykomechaniczne określające właściwości techniczne kamieni budowlanych i drogowych oraz kruszyw mineralnych

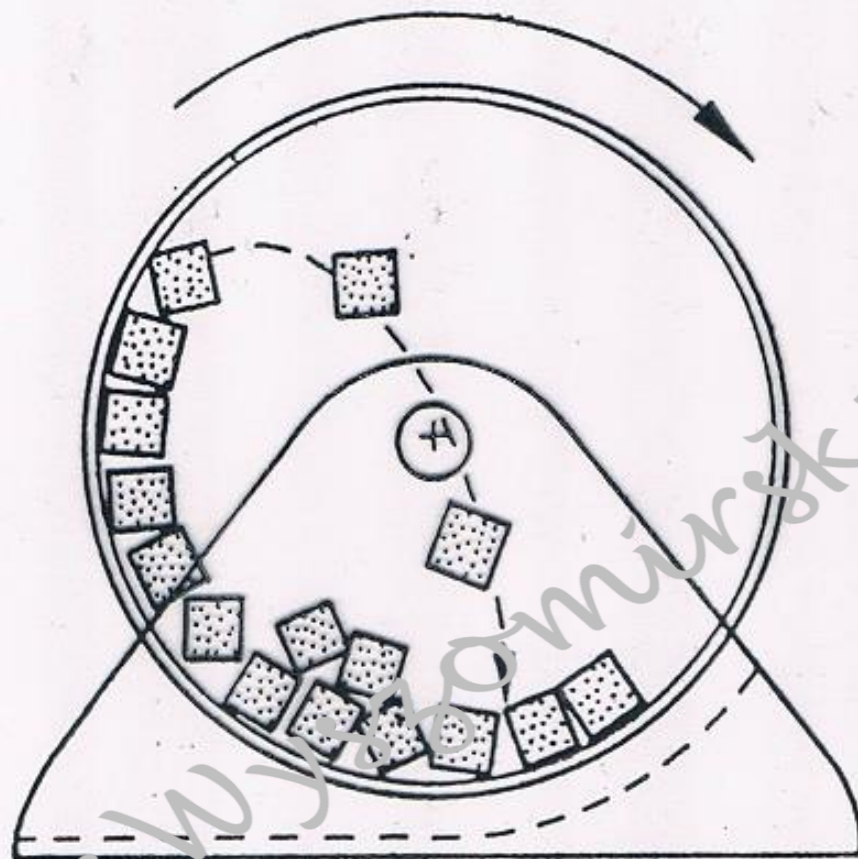
- gęstość (dawniej *ciężar właściwy*)
- gęstość pozorna (objętościowa; dawniej *ciężar objętościowy*)
- gęstość nasypowa (dawniej *ciężar objętościowy skał luźnych*)
- szczelność
- porowatość
- nasiąkliwość:
 - wagowa
 - objętościowa
 - objętościowa po gotowaniu
- wytrzymałość na ściskanie
- odporność na zamrażanie
- odporność na ścieranie:
 - na tarczy (np. Böhmego)
 - w bębnie (np. Devala)
 - w młynie Los Angeles
- przyczepność substancji organicznej do kruszywa

Niektóre parametry określające właściwości techniczne kamieni budowlanych i drogowych

- **Gęstość** (dawniej *ciężar właściwy*) – masa jednostki objętości surowca bez uwzględnienia porów.
- **Gęstość pozorną** (gęstość objętościowa; dawniej *ciężar objętościowy*) - masa jednostki objętości surowca wraz z zawartymi w nim porami i innymi pustkami.
- **Gęstość nasypowa** - masa jednostki objętości okruchów surowca wraz z porami i luzną między nimi przestrzenią.
- **Szczelność** – stosunek gęstości pozornej do gęstości.
- **Porowatość całkowita** – stosunek całkowitej objętości porów do objętości próbki, łącznie z jej wszystkimi porami. Wyróżnia się porowatość: otwartą i zamkniętą.
- **Nasiąkliwość** – stosunek masy cieczy pochłoniętej przez próbkę, przy całkowitym nasyceniu, do masy suchej próbki.



Schemat tarczy Böhme



**Schemat urządzenia do oznaczania ścieralności
surowców skalnych metodą bębnowania
(np. bęben Devala)**

Ścieralność różnych surowców skalnych z obszaru Polski określona metodą bębna Devala (Kamieński, Skalmowski 1957)

Rodzaj skały	Ubytek masy [%]	Jakość
Granity	1,8 – 5,4	od bardzo dobrej do bardzo niskiej
Porfiry	3,19 – 3,96	niska
Andezyt	3,03	średnia
Diabazy	1,73 – 3,87	od dobrej do niskiej
Piaskowce kwarcytowe	1,42 – 2,41	bardzo dobra i dobra
Piaskowce	2,0 – 5,6	od dobrej do niskiej
Wapienie	4,04 – 12,32	bardzo niska
Dolomity	2,58 – 4,92	od średniej do bardzo niskiej

Jakość skalnego kruszywa łamanego na podstawie jego ścieralności określonej metodą bębna Devala (Kamieński, Skalmowski 1957)

Jakość	Ubytek masy [%]
bardzo dobra	$\leq 2,0$
dobra	2,1 – 2,5
średnia	2,6 – 3,1
niska	3,2 – 4,0
bardzo niska	$\geq 4,0$



Bęben Los Angeles



Próbka kruszywa wraz z kulami wewnątrz bębna Los Angeles

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.

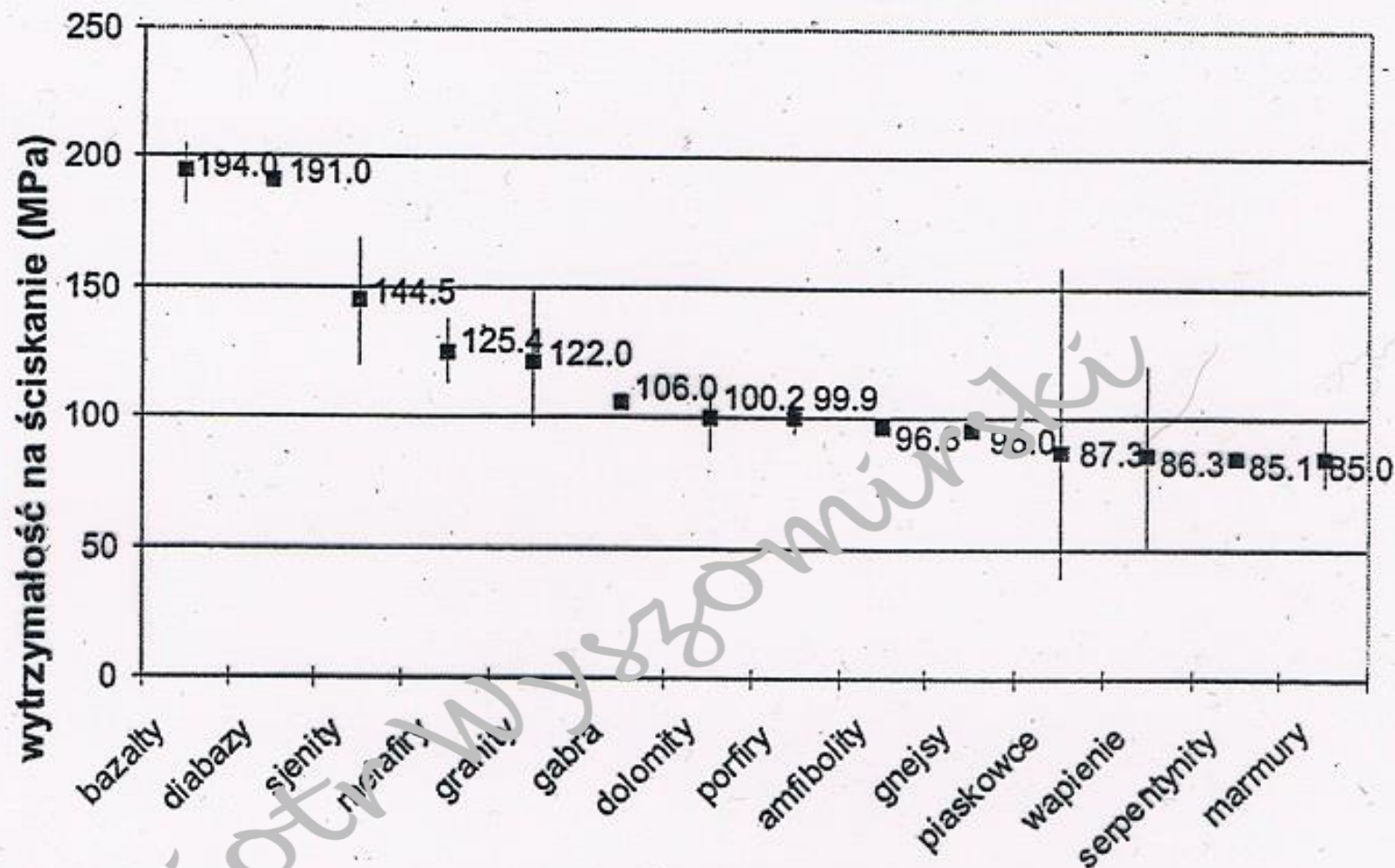
Skąły osadowe

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

Piotr Wyszomirski

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



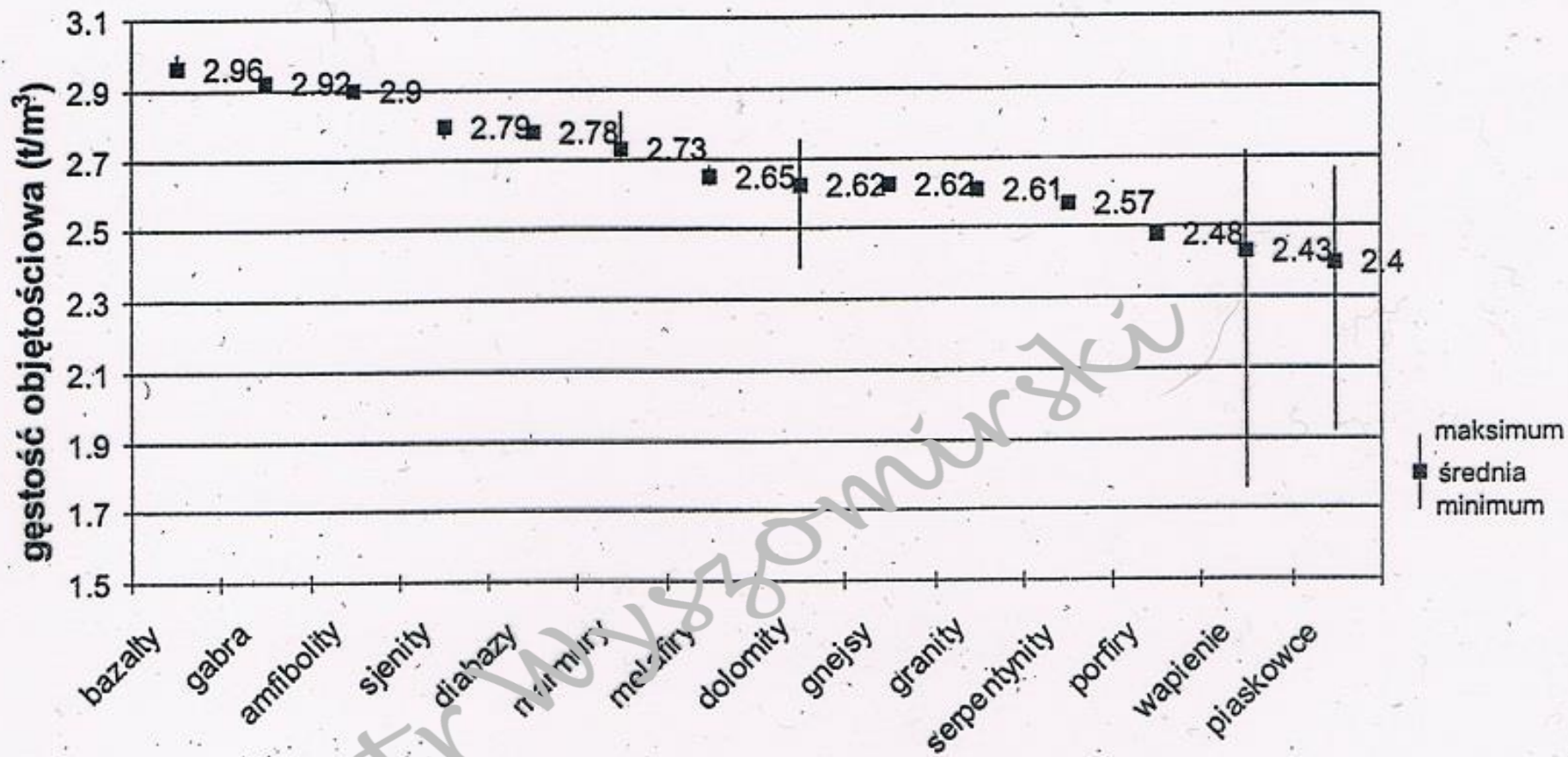
Wytrzymałość na ściskanie w stanie powietrzno-suchym reprezentatywnych skał z krajowych złóż (Bromowicz i in. 2005).

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

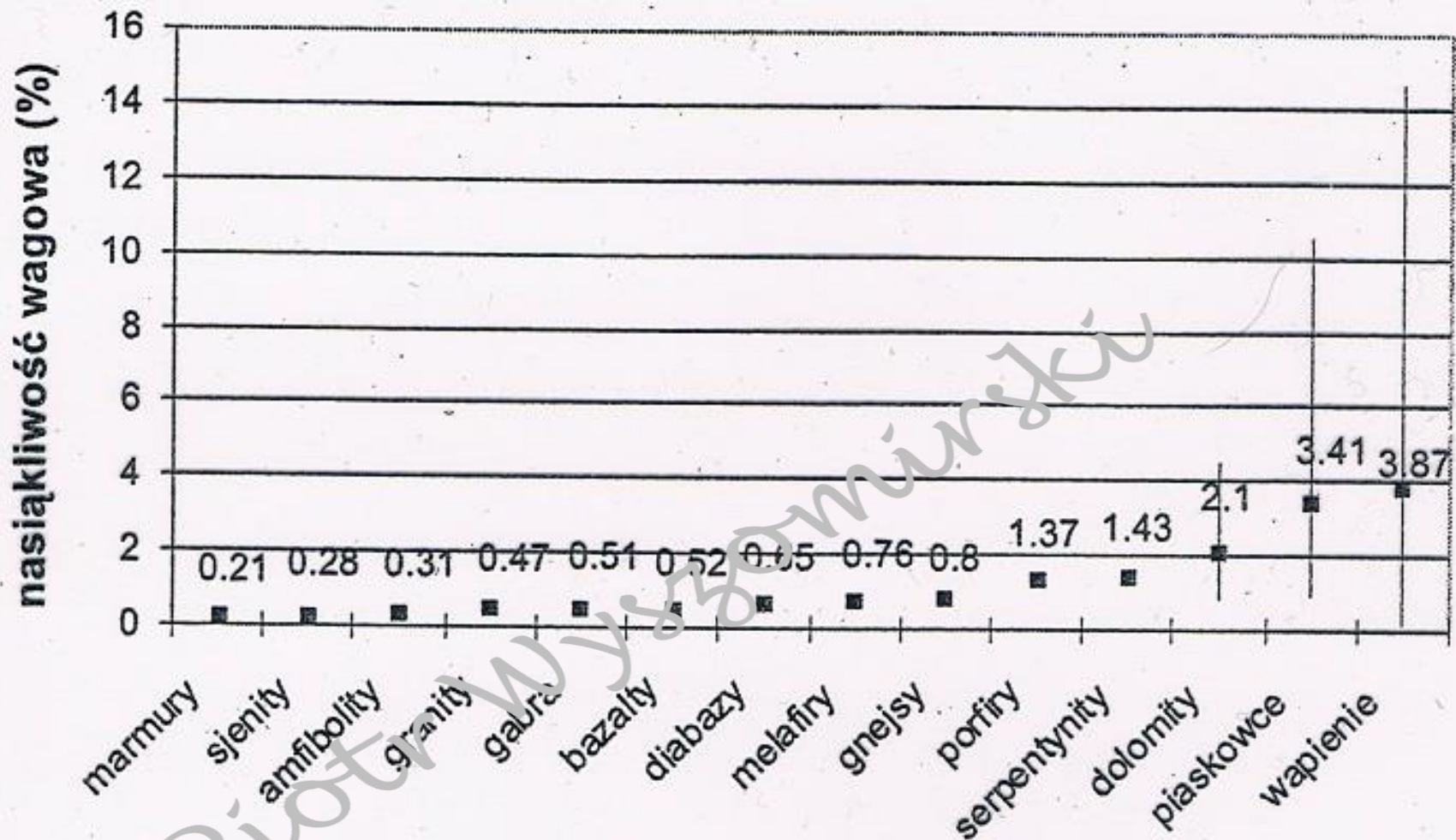
Rodzaj skały	Gęstość c_w [g/cm ³]	Gęstość pozorna c_o [g/cm ³]
• Zwięzłe		
Bazalt	2,934 – 3,087	2,929 – 3,060
Granit	2,582 – 2,685	2,262 – 2,671
Porfir	2,586 – 2,656	2,193 – 2,620
Wapień	2,701 – 2,840	1,945 – 2,699
Piaskowiec	2,593 – 2,715	1,904 – 2,600
• Luźne		
Piasek kwarcowy	2,580 – 2,660	1,310 –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

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 ($+18^{\circ}\text{C}$, 6 h) w wodzie. Maksymalną liczbę cykli określa zleceńodawca. 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 Na_2SO_4 i – następnie – suszenia.
- Miarą mrozoodporności surowców skalnych jest też ich niska nasiąkliwość ($< 1\%$).

NADAWA

(materiał z odstrzału złoża skalnego)

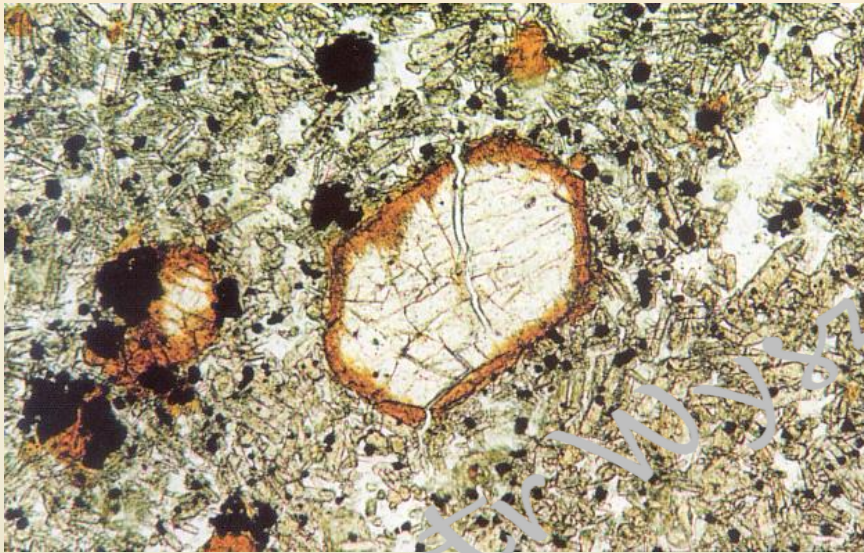


Rys. 1
Przykładowy cykl produkcyjny łamanych kruszyw drogowych.

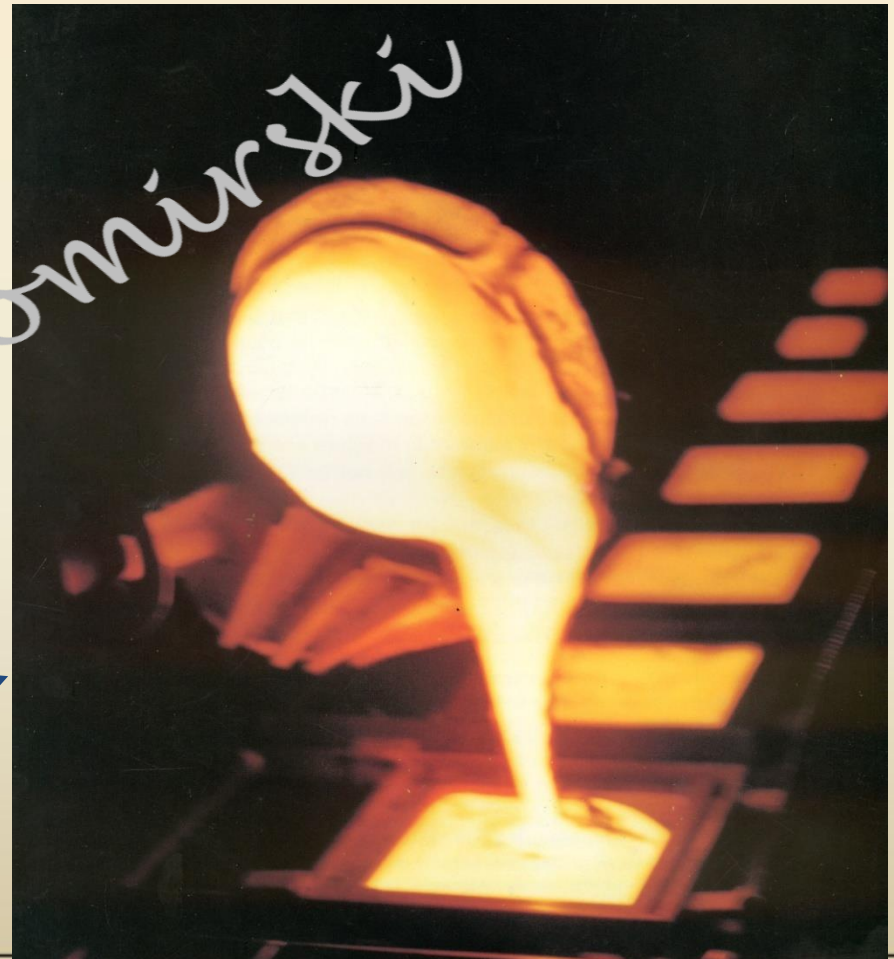
Bazalty są wykorzystywane głównie do produkcji różnych sortymentów kruszywa łamanego.



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

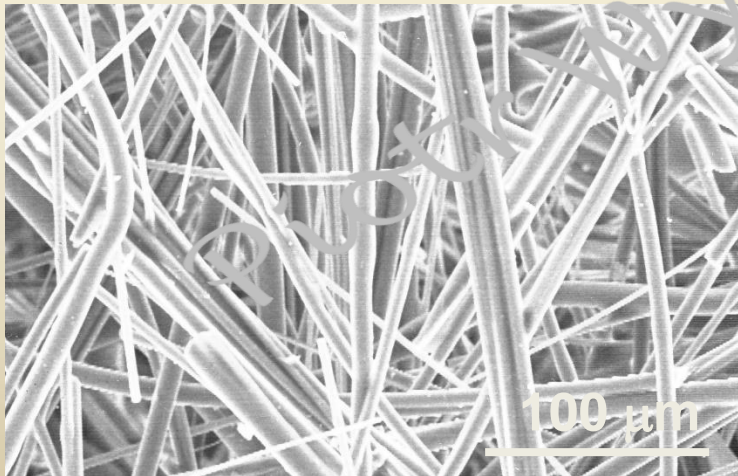
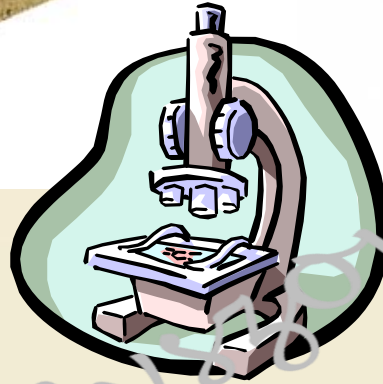


Otrzymuje się je w procesie petrurgicznym.



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/cm³	2,9-3,1
Nasiąkliwość	%	0
Wytrzymałość na ściskanie	N/m²	ok. 450
Ścieralność na tarczy Boehmego	cm³/cm²	0,06-0,12
Maksymalna odporność termiczna	°C	300-350
Liniowy współczynnik rozszerzalności termicznej	1/K	6-8 · 10⁻⁶
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:

SiO_2 41-44 % mas.

Al_2O_3 10,5-14,5

CaO 11,5-14,5

MgO 8,5-14,0



Kamieniołom bazaltu
w Sulikowie
k. Lubania Śląskiego

Przykładowy obraz betonu do produkcji którego wykorzystano kruszywo naturalne żwirowe.

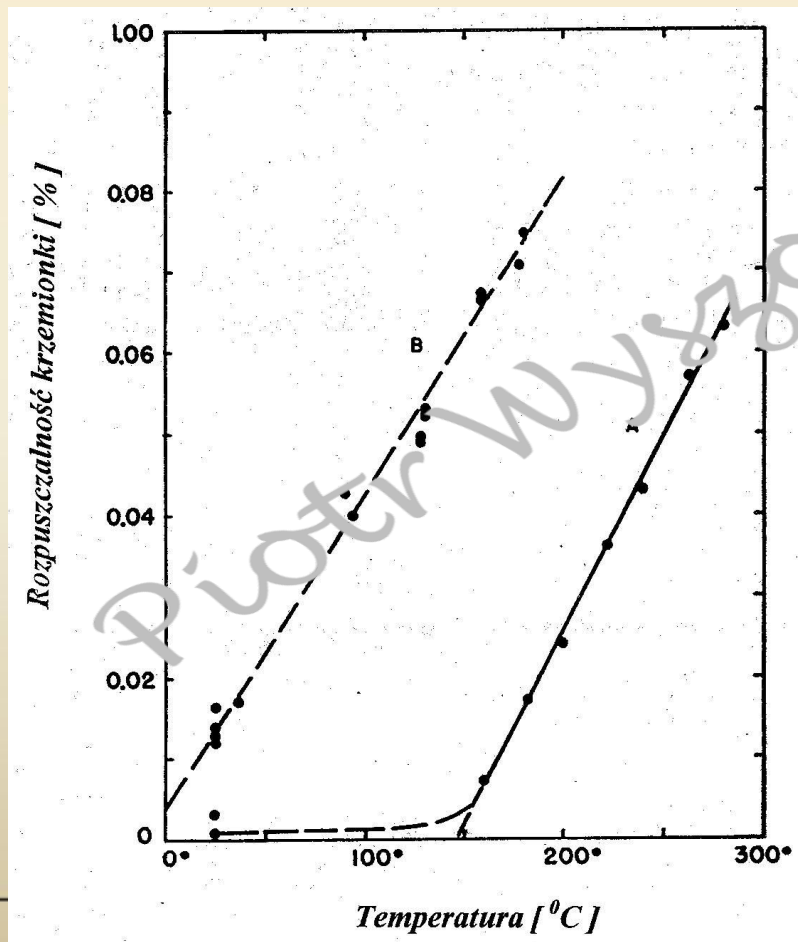


Składnik

**Przedział
zmienności**

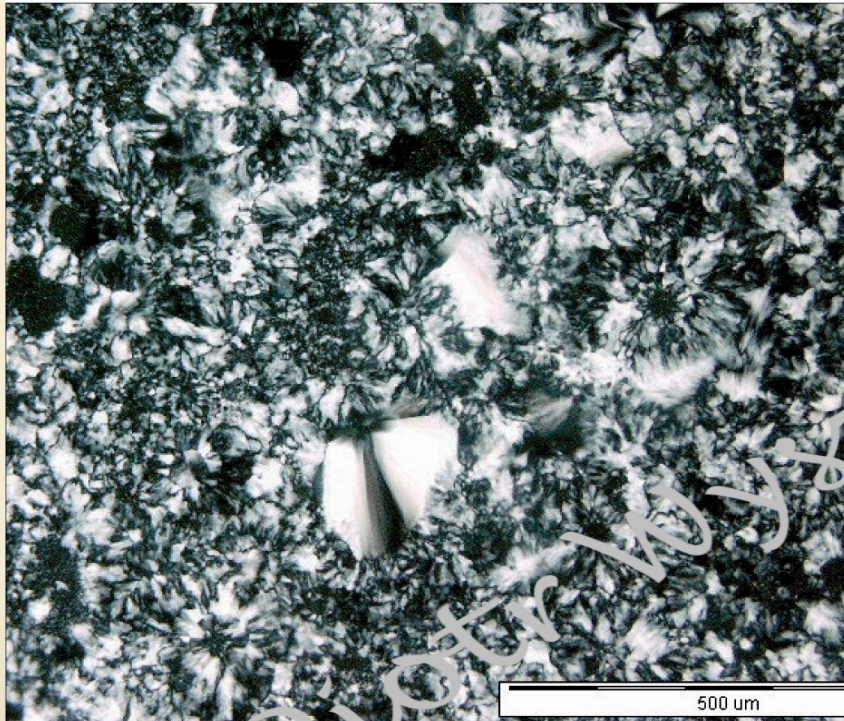
Cement	7 - 15%
Kruszywo	60 - 80%
Woda	14 - 18%
Powietrze	2 - 8%

Trwałość betonów jest w dużym stopniu uzależniona od podatności kruszywa do reagowania z alkaliami pochodzącymi z zaczynu cementowego. Dotyczy to zwłaszcza okruchów skalnych zawierających minerały grupy SiO_2 oraz okruchów węglanowych.

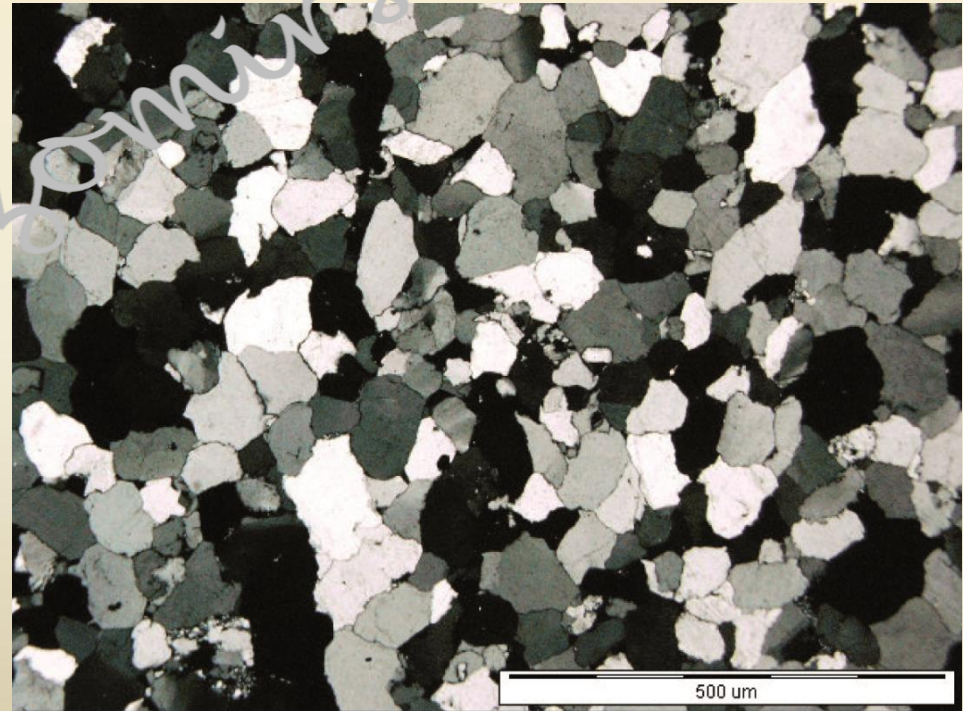


Rozpuszczalność kwarcu (A)
i krzemionki amorficznej (B)
w wodzie (Iler 1955)

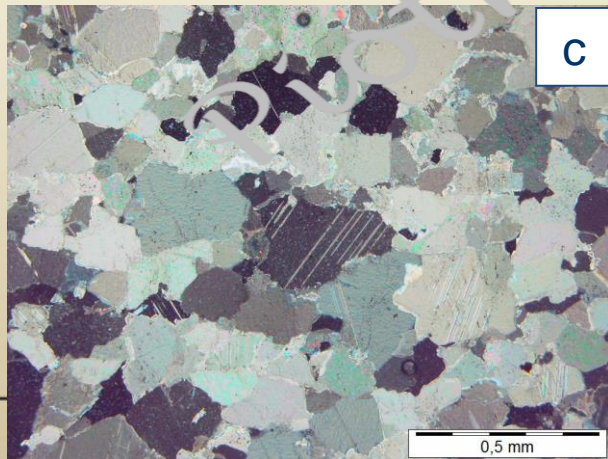
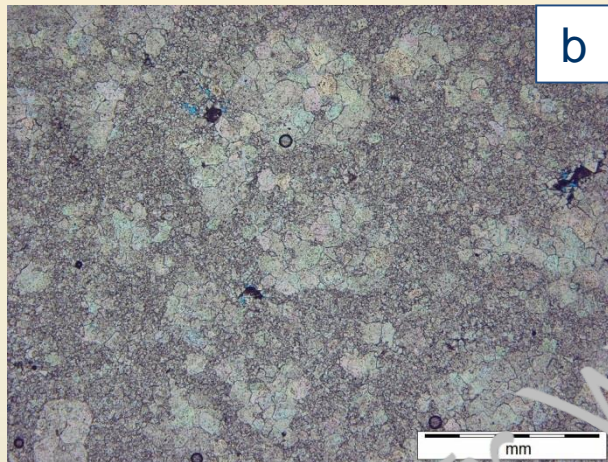
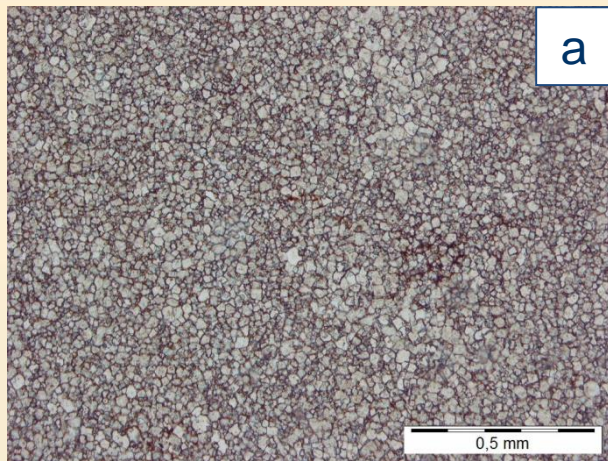
Analiza mikroskopowa w świetle przechodzącym wskazuje też na zróżnicowanie wielkości ziaren surowców krzemionkowych.



Chalcedonit z Teofilowa (woj. łódzkie).
Polaryzatory skrzyżowane.

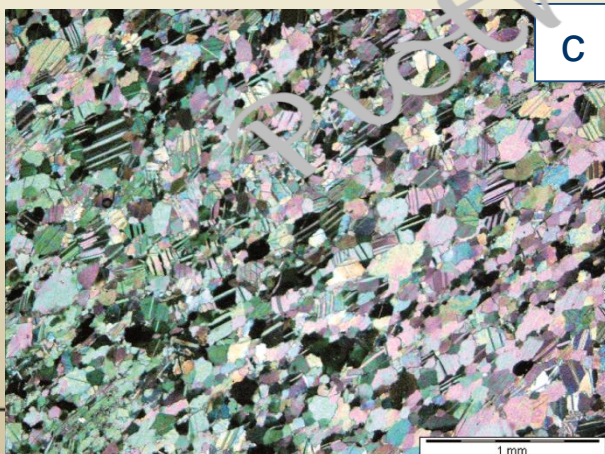
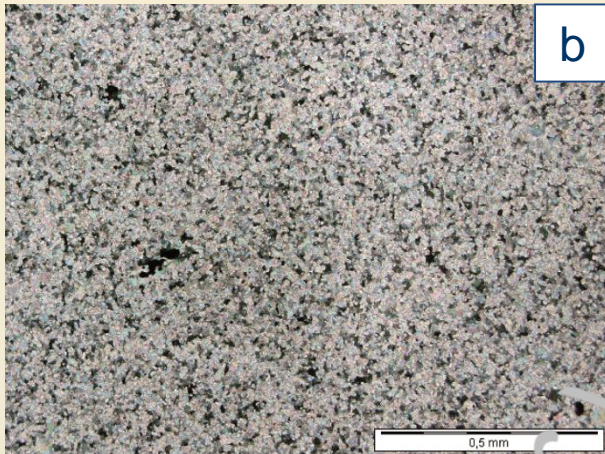
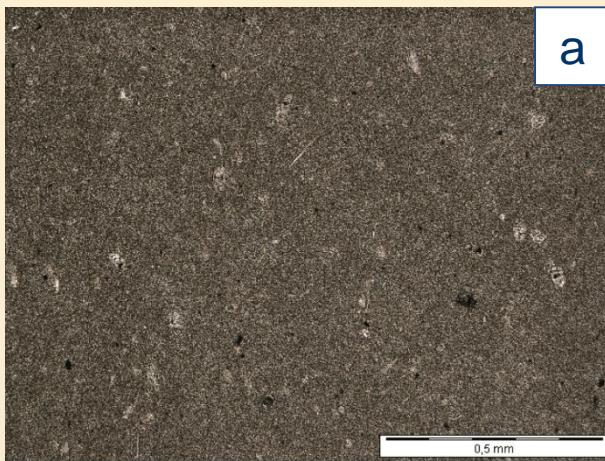


Piaskowiec kwarcowy z Bukowej Góry k.
Kielc. Polaryzatory skrzyżowane.



Na reaktywność alkaliczną podatne są w różnym stopniu takie kruszywa węglanowe jak dolomity, dolomity wapniste, wapienie dolomityczne i margliste, opoki i gezy oraz wapienie. Wiąże się to m.in. z ich strukturą, a zwłaszcza z wielkością ziaren.

Mikrofotografie krajowych dolomitów z Winnej (a), Brudzowic (b) i Ołdrzychowic (c) ujawniające zróżnicowaną wielkość ziaren. Polaryzatory skrzyżowane.



Znaczne różnicowanie strukturalne – wpływające w dużym stopniu na reaktywność alkaliczną – obserwuje się też w krajowych surowcach wapiennych.

Mikrofotografie kredy z Chełma (a), wapienia triasowego z Górażdży (b) i wapienia krystalicznego z Wojcieszowa (c). Polaryzatory skrzyżowane.

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.

Wielkość produkcji kruszyw hutniczych w 2011 r. (Sobczyński 2012)

LP.	NAZWA PRODUCENTA	SIEDZIBA FIRMY/ ZAKŁAD PRODUKCYJNY	WIELKOŚĆ PRODUKCJI [T]	MATERIAŁ
1.	EkoProd	Bytom, Kraków, Radzionków	2 700 000	żużel hutniczy
2.	Ekosar	Bytom	500 000	żużel hutniczy
3.	HK Ekogrys	Dąbrowa Górnicza	500 000	żużel stalowniczy
4.	Ekoprohut	Gliwice	370 000	żużel hutniczy
5.	Madrohut	Kraków	720 000	żużel, betony, gruz
6.	EHZ	Katowice	235 000	żużel hutniczy
7.	Hańsco Metals Polska	Bytom	170 000	żużel hutniczy
8.	Slag Recycling	Siemianowice Śląskie	ok. 250 000	mieszanki żużlowo-popiołowe
9.	Tercharpol	Siemianowice Śląskie	b.d.	mieszanki żużlowo-popiołowe
		Razem	5 345 000	
	Dolny Śląsk			
10.	KGHM Ecoren SA	Lubin	710 000	żużel pomiedziowy



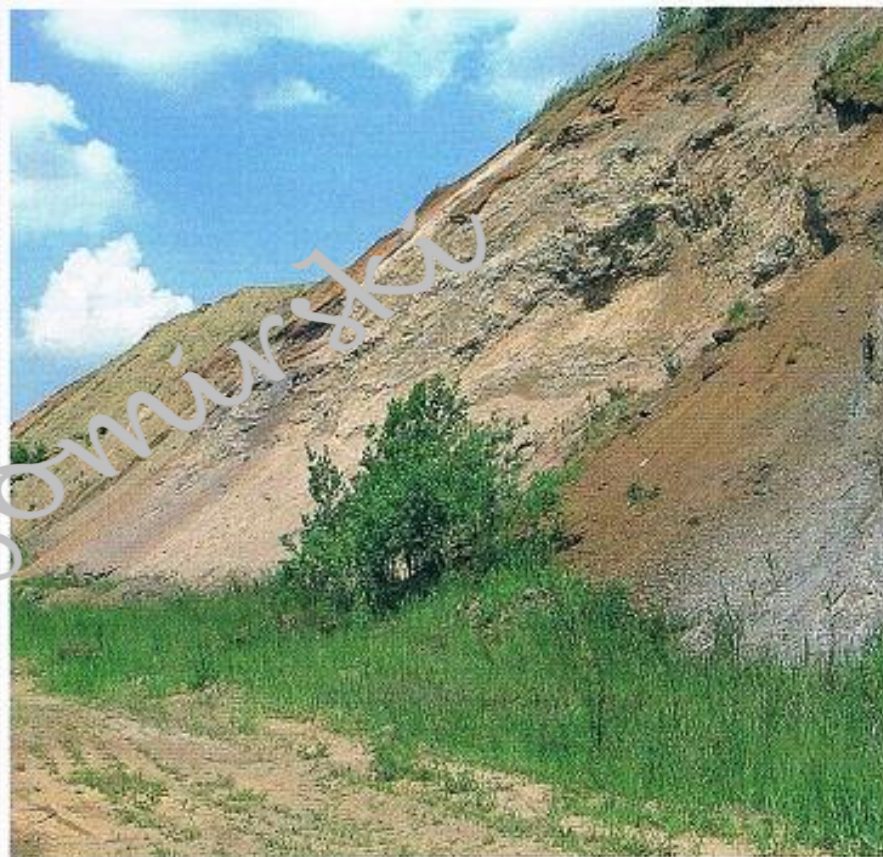
Fot. 1. Materiały alternatywne: łupki czerwone i żużle hutnicze wbudowane w drogę



Fot. 2. Spieki przepalonego łupku czerwonego pozostawione na haldzie (Górny Śląsk)



Fot. 3. Podbudowa pomocnicza z żużla hutniczego wielkopiecowego na autostradzie A4 (Małopolska)



Fot. 4. Hałda żużla cynkowego (Górnym Śląsku)

Kruszywa z recyklingu

Są to – wg PN-EN 12620 – kruszywa powstałe w wyniku przeróbki nieorganicznego materiału zastosowanego uprzednio w budownictwie.



Kruszywo betonowe o wielkości ziaren $0 \div 32$ mm (a), $32 \div 56$ mm (b), >56 mm (c)



Gruz ceglany z wyburzenia obiektu mieszkalnego



Kruszywo ceglane o wielkości ziaren $0 \div 32$ mm (a), $32 \div 56$ mm (b), >56 mm (c)

Podział kruszyw z recyklingu

(wg zaleceń *RILEM*; 2003)

- Typ I – gruz pochodzący pierwotnie z elementów murowych,
- Typ II – gruz pochodzący pierwotnie z betonu,
- Typ III – mieszanina kruszywa recyklingowego i naturalnego.

Niektóre krajowe firmy trudniące się wykorzystaniem gruzu budowlanego

BWJ Kruszywa Sp. z o.o. – Warka, Centrorom – Gdynia, Darbagos – Rzepiennik Strzyżewski, Ekamelbud S.A. – Mrągowo, FHUB WAPEX – Bytom, Gruz-bet FUH – Paniówki, Mo-Bruk – Nowy Sącz, Prefabet – Bielsko-Biała, Bet-pol s.c. – Bydgoszcz, Terbet-Recykling – Szczecin, Talbud-A – Skawina, ZRKiBO Rekabet Sp. z o.o. – Teolin