

SUROWCE MINERALNE

Wykład 7

Skały metamorficzne

Stanowią one produkty przeobrażeń skał magmowych i osadowych oraz starszych skał metamorficznych pod wpływem wysokiego ciśnienia i podwyższonej temperatury, a także zmian chemicznych (głównie wskutek dyfuzji).

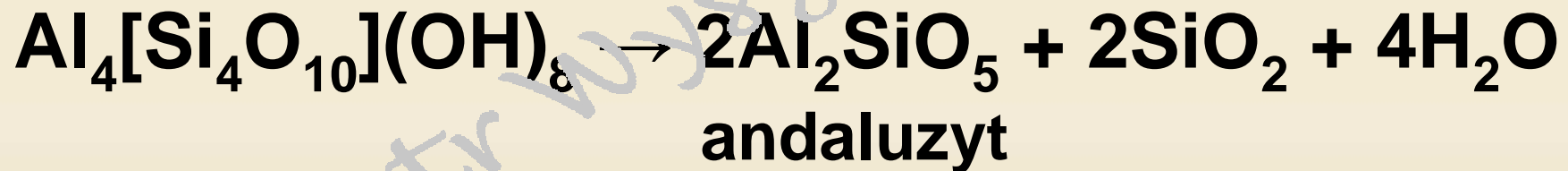
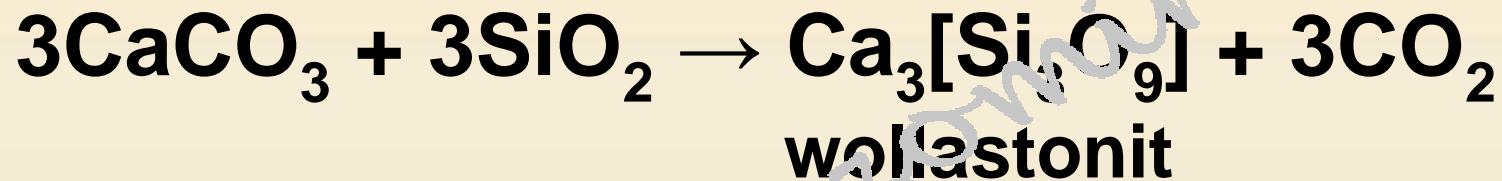
Metamorfizm

Główne czynniki metamorfizujące	Rodzaj metamorfizmu
Wzrost temperatury powodowany intrudowaniem magmy	metamorfizm termiczny
Wzrost ciśnienia kierunkowego powodującego ruchy wewnątrz skały	metamorfizm dyslokacyjny
Wzrost ciśnienia i temperatury wynikający ze stopnia geotermicznego	metamorfizm regionalny
Wielki, lecz krótkotrwały wzrost ciśnienia i temperatury powstającej wskutek zderzenia ciał kosmicznych	metamorfizm zderzeniowy (impaktytowy)
Powtarzające się działanie dużych ciśnień i wysokich temperatur, a także działanie czynników chemicznych, które powodują następujące po sobie przejawy różnych typów metamorfizmów	polimetamorfizm
Kierunek oddziaływania ciśnienia i temperatury	metamorfizm progresywny – – metamorfizm regresywny

Minerały skał metamorficznych

- Grupa piroksenów** - krzemiany łańcuchowe z anionem $[\text{Si}_2\text{O}_6]^{4-}$. Wśród nich: *jadeit*, *diopsyd*, *egiryn*.
- Grupa amfiboli** - krzemiany wstęgowe z anionem $[\text{Si}_4\text{O}_{11}]^{6-}$. Wśród nich: *antofyllit*, *aktynolit*, *glaukofan*.
- Grupa granatów** - krzemiany wyspowe o ogólnym wzorze $\text{Me}_3\text{R}[\text{Si}_2\text{O}_6]_2$, gdzie $\text{Me} = \text{Ca}^{2+}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mn}^{2+}$, a $\text{R} = \text{Al}^{3+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Cr}^{3+}$. Wśród nich: *almandyn*, *pirop*, *andradyt*, *grossular*.
- Grupa serpentynu** - krzemiany warstwowe - $(\text{Mg}, \text{Fe})_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$. Ich odmiany to *antygoryt* i *chryzotyl*.
- Grupa chlorytu** - glinokrzemiany warstwowe, głównie magnezu i żelaza, o skomplikowanym składzie chemicznym.
- Epidot** - $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Al})\text{Al}_2[\text{O} | \text{OH} | \text{SiO}_4 | \text{Si}_2\text{O}_7]$
- Talk** - $\text{Mg}_3(\text{OH})_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}]$
- Staurolit** - $\text{AlFe}_2\text{O}_3(\text{OH}) \cdot 4\text{Al}_2[\text{O} | \text{SiO}_4]$
- Kordieryt** - $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{Al}_3[\text{AlSi}_5\text{O}_{18}]$
- Wollastonit** - $\text{Ca}_3[\text{Si}_3\text{O}_9]$
- Dysten, sillimanit, andaluzyt** - odmiany polimorficzne $\text{Al}_2[\text{O} | \text{SiO}_4]$.

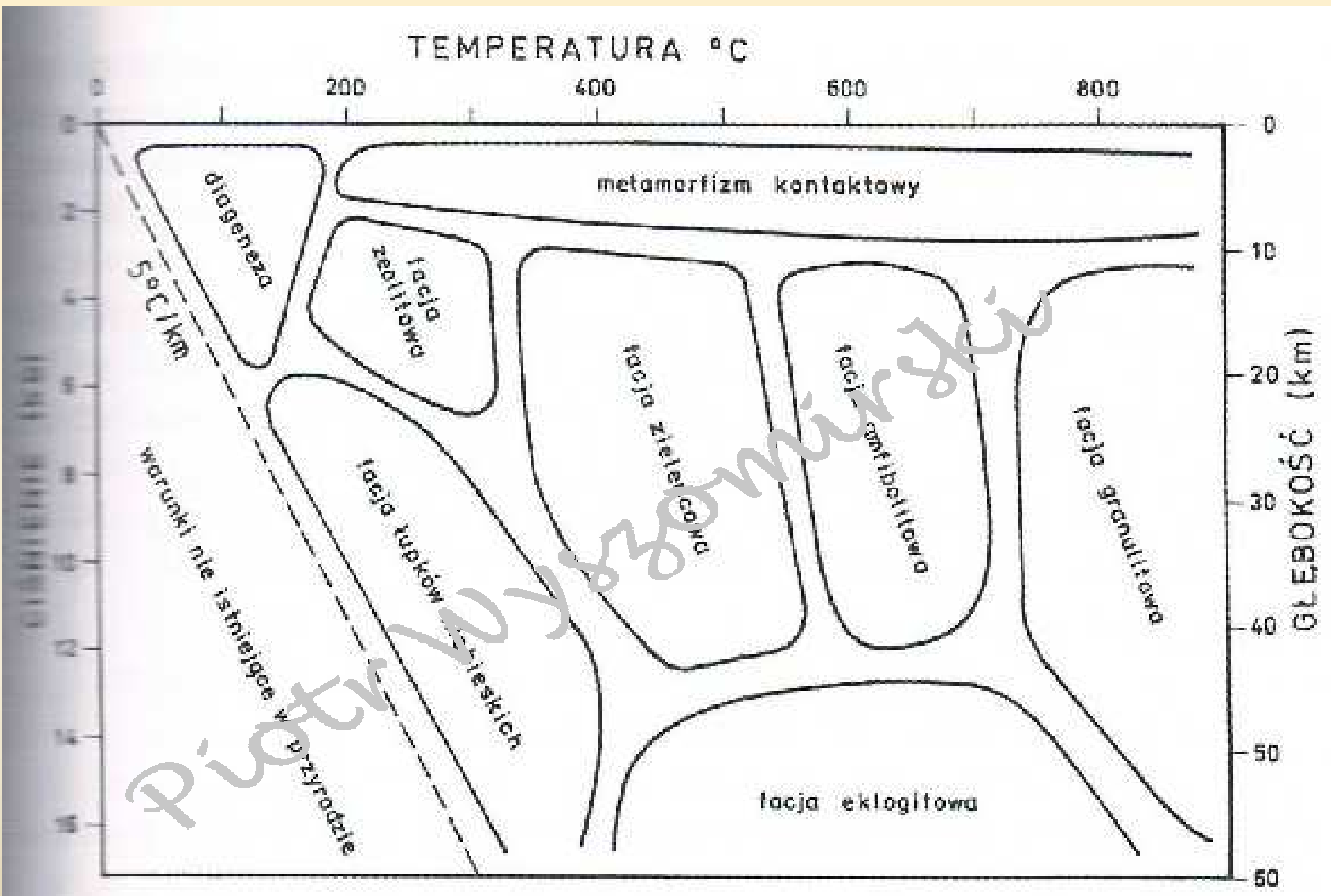
**Przykłady minerałów właściwych
tylko skałom metamorficznym:**



Facja metamorfizmu

Tym mianem określa się zespół minerałów skałotwórczych skał metamorficznych, który może współwystępować i trwale współistnieć w określonych zakresach ciśnienia i temperatury.

Przykładowo: obecność wollastonitu $\text{Ca}_3[\text{Si}_3\text{O}_9]$ świadczy o temperaturze ok. 500°C panującej w środowisku podczas powstawania tego minerału.



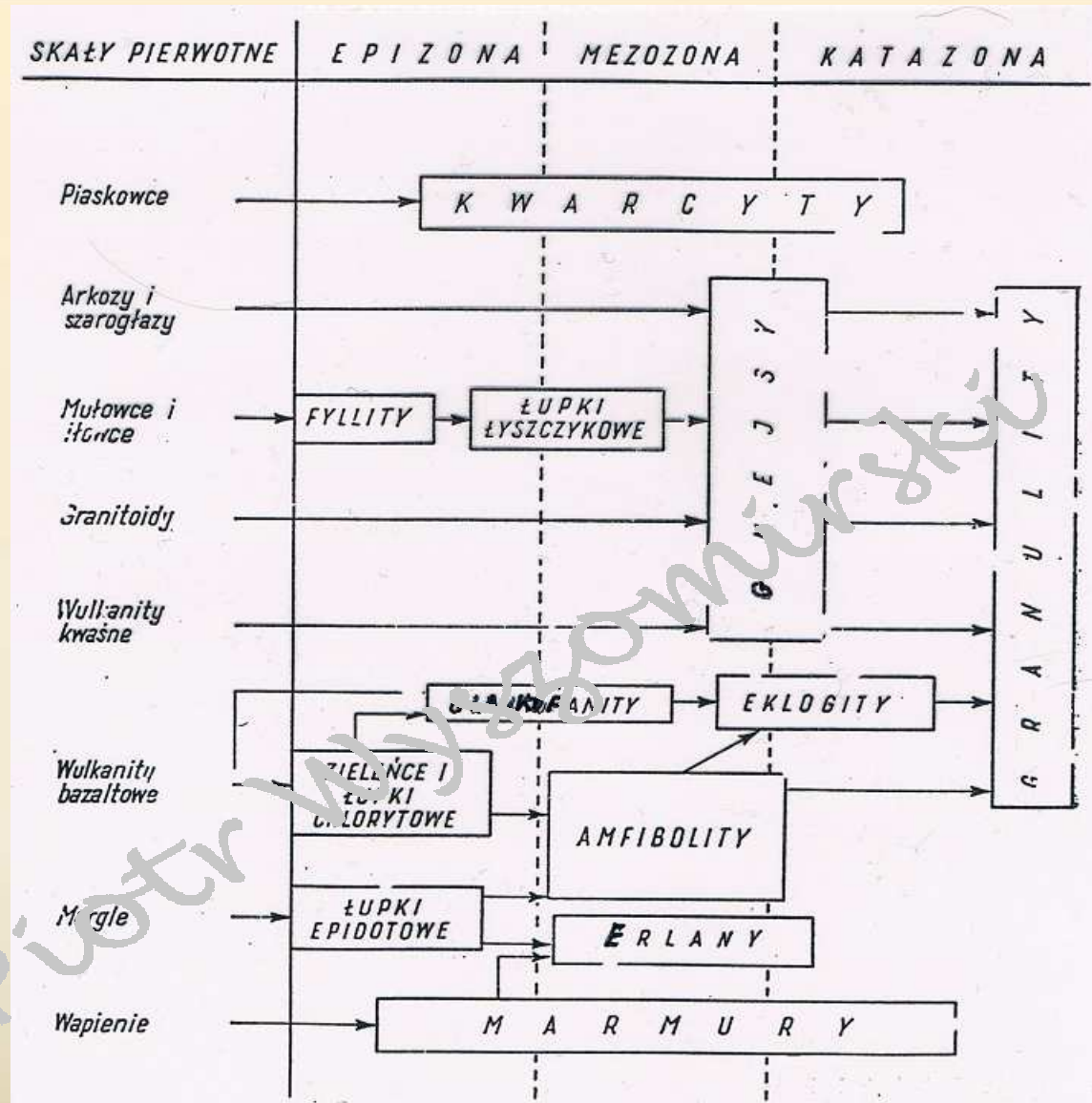
Zasięg *P-T* metamorfizmu kontaktowego i głównych facji metamorfizmu regionalnego

Klasyfikacja skał metamorficznych

<p>Produkty metamorfizmu regionalnego</p>	<p>Utwory facji zeolitowej Utwory facji zieleńcowej (zielonych łupków) Utwory facji łupków glaukofanowych Utwory facji almandynowo-amfibolito- towiej Utwory facji granulitowej Utwory facji eklogitowej</p>
<p>Produkty metamorfizmu termicznego (kontaktowe- go)</p>	<p>Utwory facji hornfelsów albitowo- -epidotowych Utwory facji hornfelsów hornblendo- wych Utwory facji hornfelsów pirokseno- wych Utwory facji sanidynitowej</p>
<p>Produkty metamorfizmu dyslokacyjne- go (dynamiczne- go)</p>	<p>Kataklazyty, mylonity</p>

Uproszczona klasyfikacja skał metamorficznych

Skały zmetamorfizowane regionalnie		
Strefa głębokościowa	Nazwa skały	Minerały główne
<i>Epi</i> (płytki metamorfizm)	fyllity łupki chlorytowe	serycyt chloryt kwarc epidot
<i>Mezo</i> (średni metamorfizm)	łupki lyszczykowe gneisy amfibolity	kwarc muskowit biotyt kwarc skalanie lyszczyki plagioklasy hornblenda zwyczajna tytanit
<i>Kata</i> (głęboki metamorfizm)	granulity eklogity	kwarc skalanie granaty rutyl granat piroksen rutyl
Skały zmetamorfizowane kontaktowo		
Typ skały	Nazwa skały	Minerały główne
Skąły krzemianowe	hornfelsy	kwarc skalanie lyszczyki kordieryt andaluzyt
Skąły węglanowo-krzemianowe	skarny	kalcyt dolomit epidoty granaty pirokseny amfibole



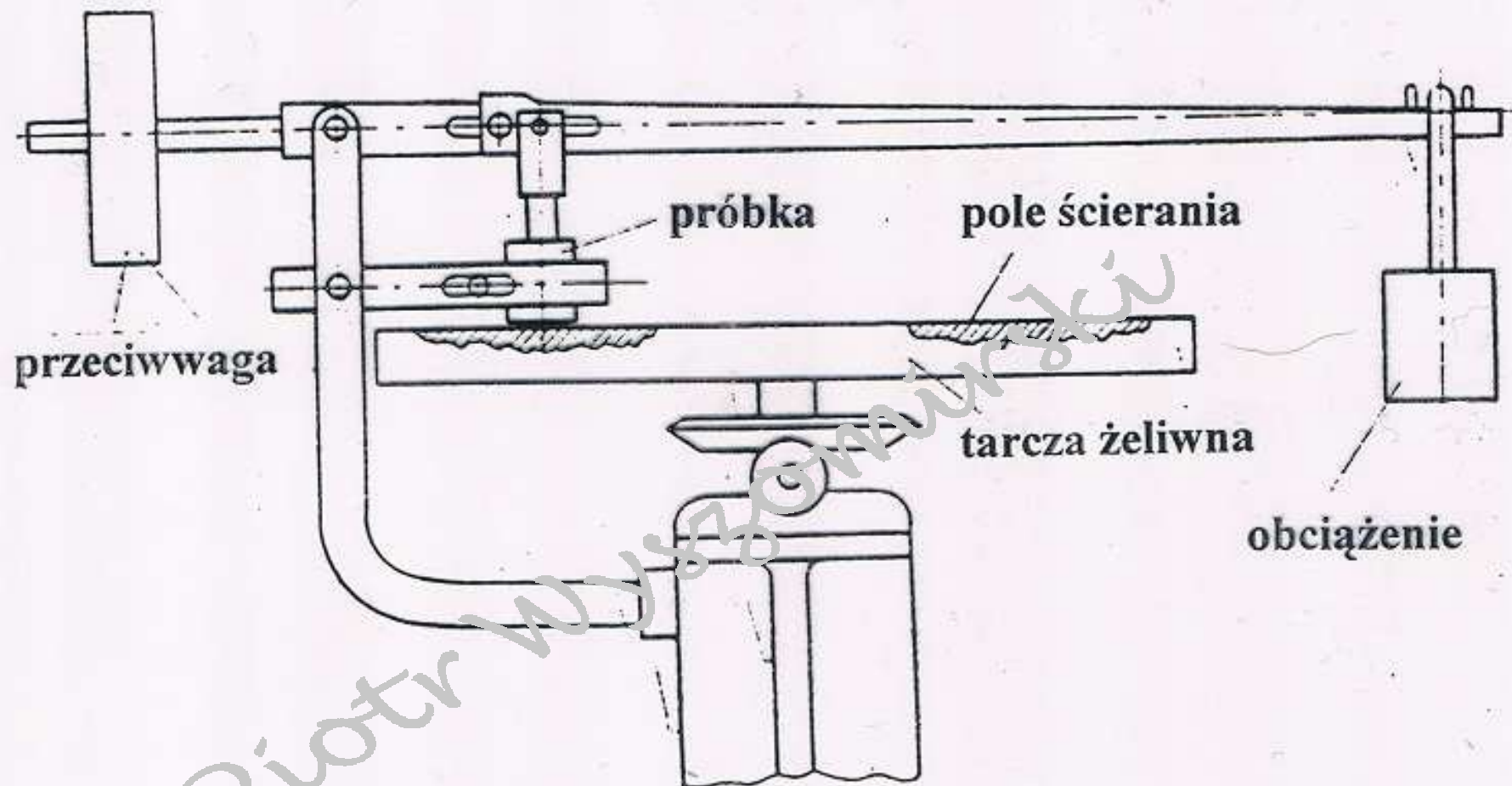
Metamorfizm regionalny najbardziej pospolitych typów skał wyjściowych

Niektóre parametry określające właściwości techniczne kamieni budowlanych i drogowych

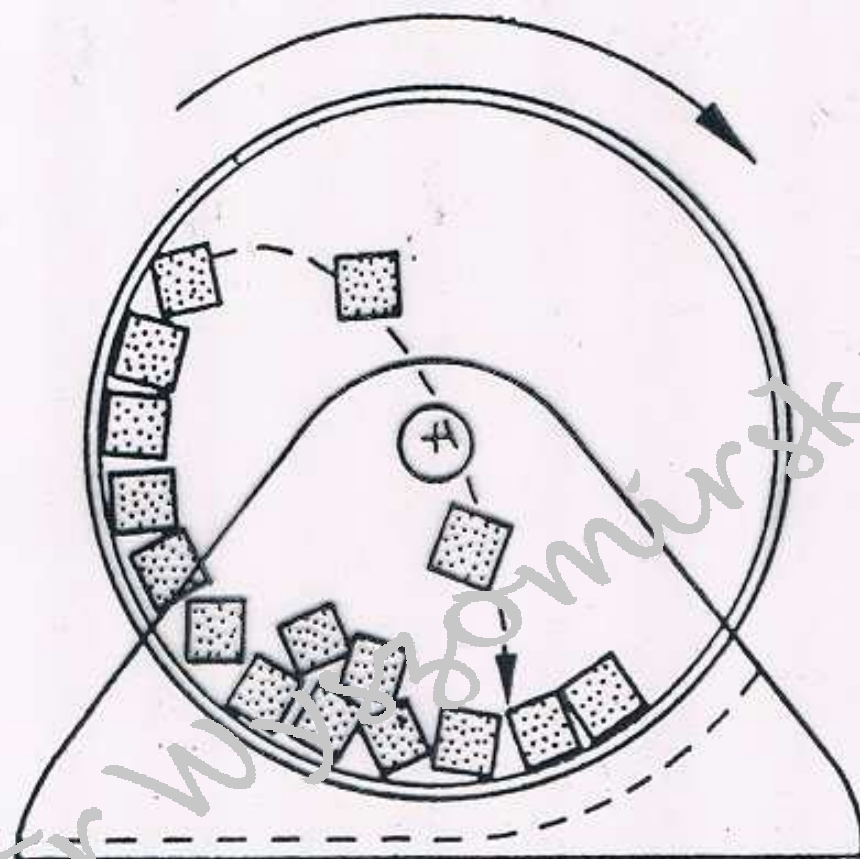
- gęstość (dawniej *ciężar właściwy*)
- gęstość pozorna (objętościowa; dawniej *ciężar objętościowy*)
- gęstość nasypowa (dawniej *ciężar objętościowy skał luźnych*)
- szczelność
- porowatość
- nasiąkliwość:
 - wagowa
 - objętościowa
 - objętościowa po gotowaniu
- wytrzymałość na ściskanie
- odporność na zamrażanie
- odporność na ścieranie:
 - na tarczy (np. Böhmeego)
 - 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 pozorna** (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 skąd 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

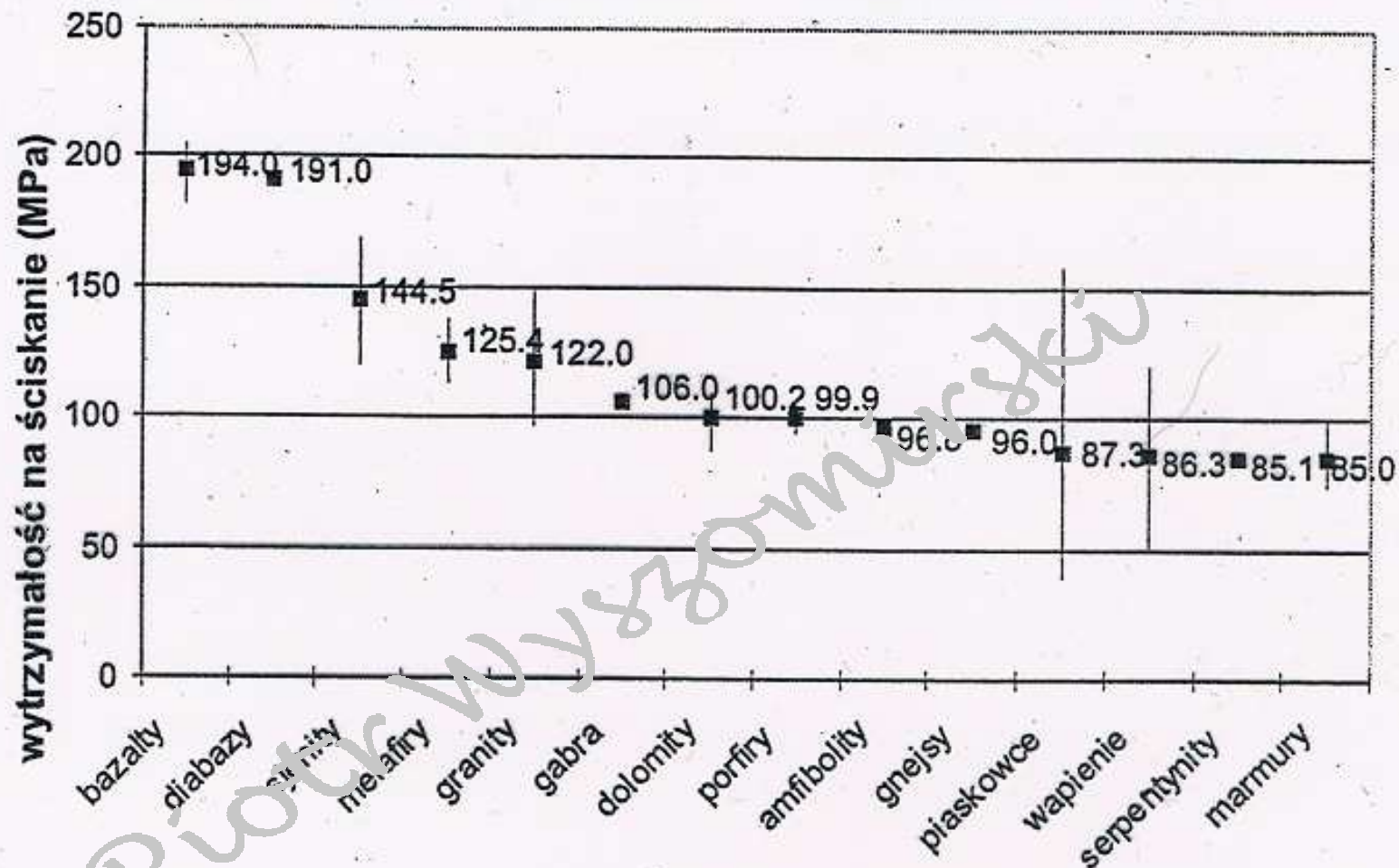
- Do produkcji kruszyw budowlanych średniej jakości wykorzystywane są głównie amfibolity.
- Stosowane są też odpady marmurów kalcytowych, które powstają podczas produkcji elementów architektonicznych i dekoracyjnych. Przerabiane są one na grysy, których jakość jest jednak stosunkowo niska.

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



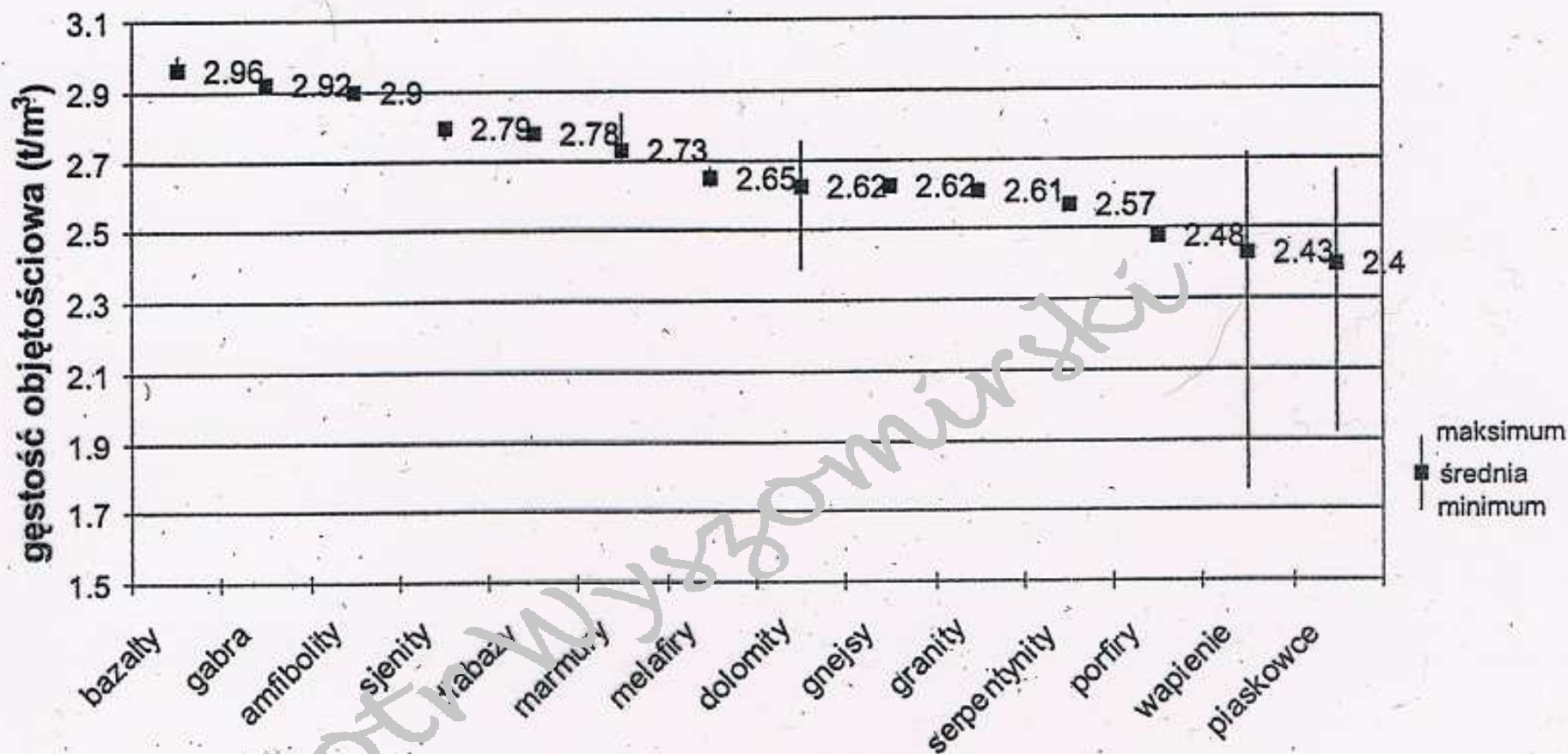
Wytrzymałość na ściskanie w stanie powietrzno-suchym reprezentatywnych skał z krajowych złóż (Bromowicz i in. 2005).

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

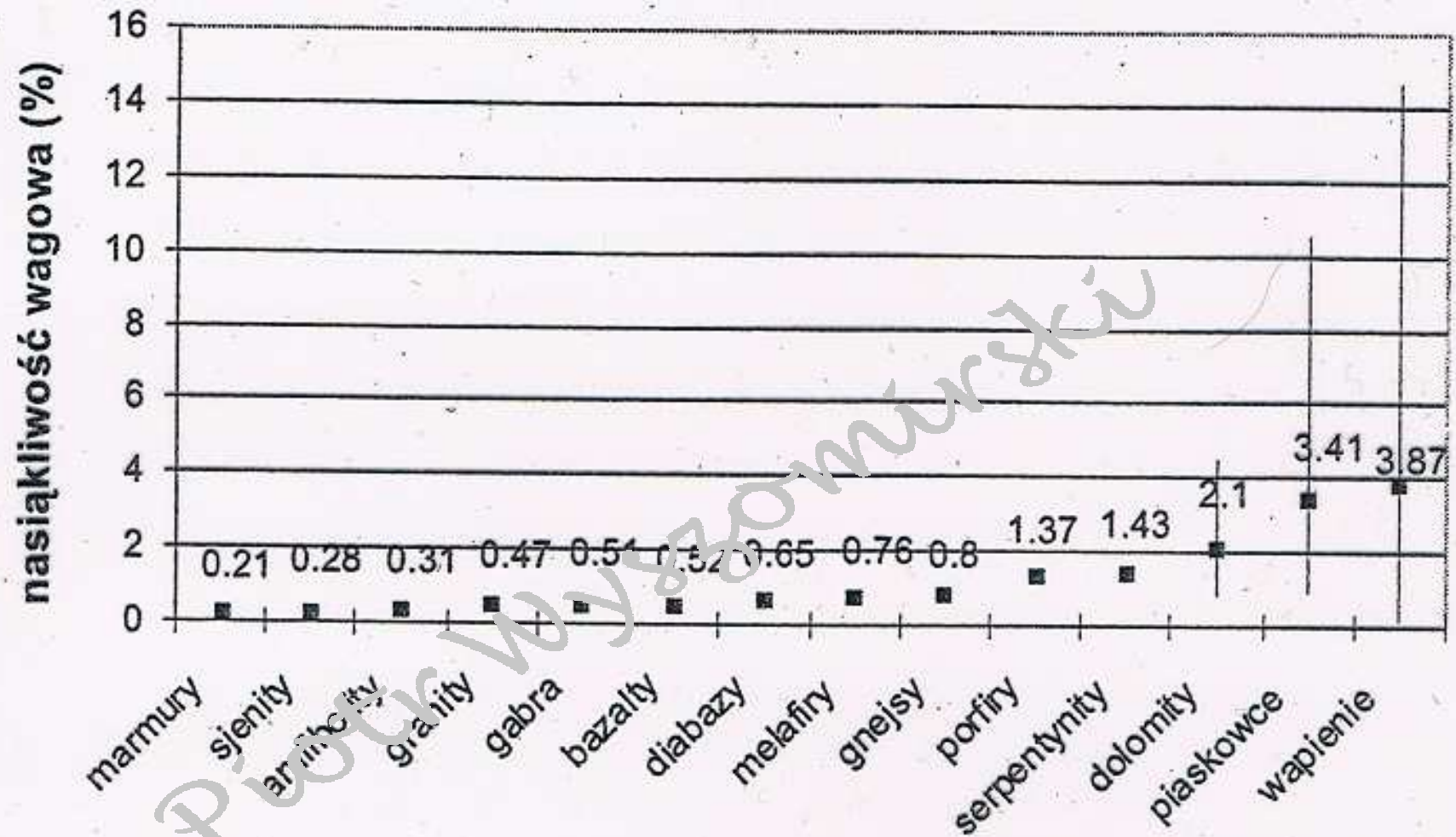
Rodzaj skały	Gęstość c_w [g/cm ³]	Gęstość pozorną c_o [g/cm ³]
• Zwięzłe		
Bazalt	2,934 – 3,087	2,929 – 3,060
Granit	2,582 – 2,685	2,262 – 2,671
Porfir	2,586 – 2,656	2,193 – 2,620
Wapień	2,701 – 2,840	1,945 – 2,699
Piaskowiec	2,593 – 2,715	1,904 – 2,600
• Luźne		
Piasek	2,580 – 2,660	1,310 – 1,570
kwarcowy	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 Na_2SO_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)

Kłosek (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