



**DOTACJE NA INNOWACJE**

**INNOWACYJNE SPOIWA CEMENTOWE I BETONY  
Z WYKORZYSTANIEM POPIOŁU LOTNEGO WAPIENNEGO**

**CHARAKTERYSTYKA MIKROSTRUKTURY BETONÓW Z  
POPIOŁEM LOTNYM WAPIENNYM W ODNIESIENIU DO  
ODPORNOŚCI NA AGRESJĘ ŚRODOWISKA**

*Michał A. Glinicki  
mglinic@ippt.pan.pl*



**INSTYTUT PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI  
POLSKIEJ AKADEMII NAUK**



**Projekt współfinansowany przez Unię Europejską z Europejskiego  
Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka  
Konferencja Przedstawicieli Nauki i Przemysłu, Bronisławów, 23-24 maja 2013 r.**



## PLAN PREZENTACJI

1. Wstęp
2. Metody badań
3. Materiały i próbki do badań
4. Mikrostruktura, skład fazowy, porowatość
5. Autozarastanie rys
6. Wnioski



## WSTĘP

- ❖ Wprowadzenie aktywnych dodatków mineralnych do betonu powoduje modyfikacje właściwości matryc.
- ❖ Wyjaśnienie związków między **składnikami i właściwościami betonu** wymaga odwołania do opisu mikrostruktury i składu fazowego matryc.
- ❖ Wpływ aktywnych dodatków mineralnych na mikrostrukturę i skład fazowy produktów hydratacji cementu omówiono na Kongresie Chemii Cementu 2011.
- ❖ Badania produktów hydratacji cementu z dodatkiem **popiołów W** wykazały zmniejszenie zawartości ettringitu i zwiększenie zawartości faz AFm, głównie monosiarczanu. Przedstawiono zależności analityczne, określające porowatość matrycy w betonie zmniejszającą się, gdy **popiół W** stosuje się jako zamiennik części kruszywa, lub pozostającą bez zmian, gdy **popiół W** stosuje się jako zamiennik części cementu.





## CEL BADAŃ I WYKORZYSTANIE WYNIKÓW

### **Cel badań:**

oznaczenie charakterystyki mikrostruktury i składu fazowego próbek betonu z popiołem lotnym wapiennym z węgla brunatnego z Elektrowni Bełchatów, stosowanym jako :

- dodatek do betonu jako częściowy zamiennik cementu
- składnik główny cementów wieloskładnikowych

### **Zamierzone wykorzystanie wyników:**

do szczegółowej oceny wpływu popiołów lotnych wapiennych na wytrzymałość i trwałość betonu oraz uzasadnienia zakresu zastosowań betonów w budynkach i konstrukcjach inżynierskich





## METODY BADAŃ

### **Analiza mikroskopowa**

skaningowy mikroskop elektronowy Zeiss-SUPRA (pow. od 400x do 100 000x)  
mikroskop optyczny Nikon SMZ800 i Olympus BX51

### **Analiza termiczna (DTG, DTA i TG)**

analizator SDT Q600 w atmosferze powietrza; próbki matryc wyseparowane z betonów

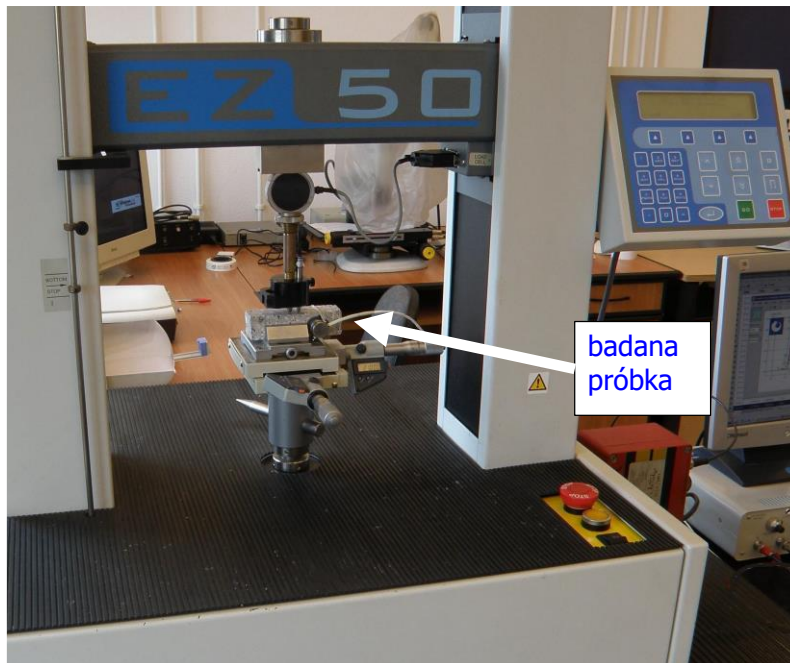
z odpowiednich ubytków masy zaczynów w trakcie analizy termicznej oznaczono :

- zawartość wody związanej w produktach hydratacji cementu – w uwodnionych krzemianach, glinianach i glinosiarczanach wapnia, HI
- zawartość wody związanej w wodorotlenku wapnia, HCH
- zawartość wody związanej w produktach hydratacji i hydrolizy cementu = HI +HCH
- zawartości wodorotlenku i węgla wapnia
- stratę prażenia

### **Porozymetria rtęciowa**

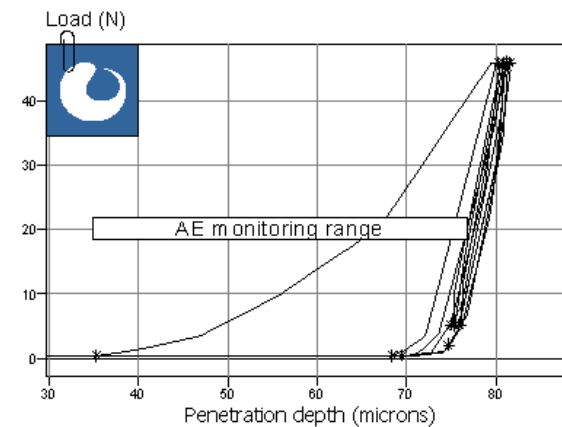
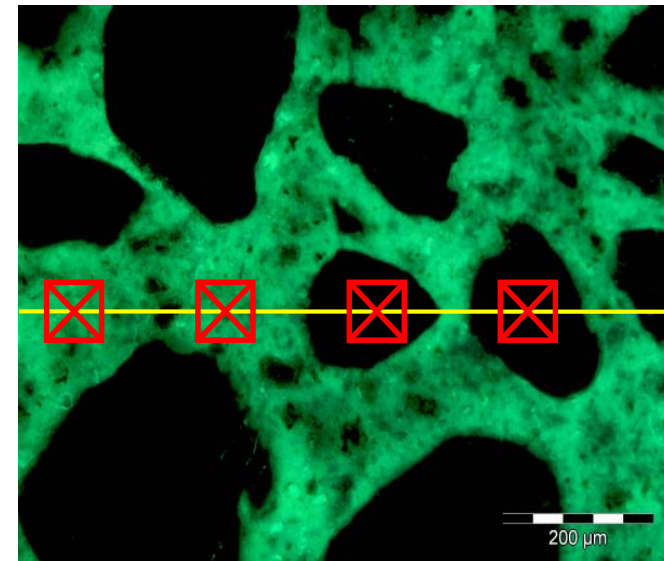
Quantachrome POREMASTER 600 automatyczny porozymetr rtęciowy do pomiaru rozkładu wielkości porów w zakresie średnic od około 0,003  $\mu\text{m}$  do 950  $\mu\text{m}$

## METODA MIKROINDENTACJI WIELOKROTNEJ



Maszyna Lloyd EZ50,  
sterowanie Ondio Nexygen

Ciągły pomiar siły i przemieszczenia  
wglębniaka Vickersa oraz emisji akustycznej





## SKŁAD MIESZANEK BETONOWYCH

Składniki	Zawartość składników [kg/m <sup>3</sup> ]								
	A1-0	A1-30S	A1-30M	N3-0	N3-30S	N3-30M	H3-0	H3-30S	H3-30M
Cement CEM I	350 <sup>(1)</sup>	245 <sup>(1)</sup>	245 <sup>(1)</sup>	350 <sup>(1)</sup>	245 <sup>(1)</sup>	245 <sup>(1)</sup>	350 <sup>(2)</sup>	245 <sup>(2)</sup>	245 <sup>(2)</sup>
Piasek 0-2mm	660	480	480	620	598	598	620	598	598
Grys amfibolitowy 2-8mm	590	590	590	635	612	612	635	612	612
Grys amfibolitowy 8-16mm	640	640	640	625	603	603	625	603	603
Woda	158	158	158	175	175	175	175	175	175
Popiół lotny wapienny	0	263 <sup>(3)</sup>	263 <sup>(4)</sup>	0	150 <sup>(5)</sup>	150 <sup>(6)</sup>	0	150 <sup>(5)</sup>	150 <sup>(6)</sup>
Superplastyfikator	2,1	7,4	5,0	0,5	2,2	1,5	0	0,6	0,7
Domieszka napowietrzająca	0,5	3,0	6,0	0,5	1,8	5,8	0,8	1,8	6,0
k	0,4			0,7			0,7		
w/(c+k*a)	0,45	0,45	0,45	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50

Rodzaj popiołu i powierzchnia właściwa wg Blaina:

(3) partia 1 nieuzdatniony; 2860 cm<sup>2</sup>/g; (4) partia 1 mielony, 3870 cm<sup>2</sup>/g

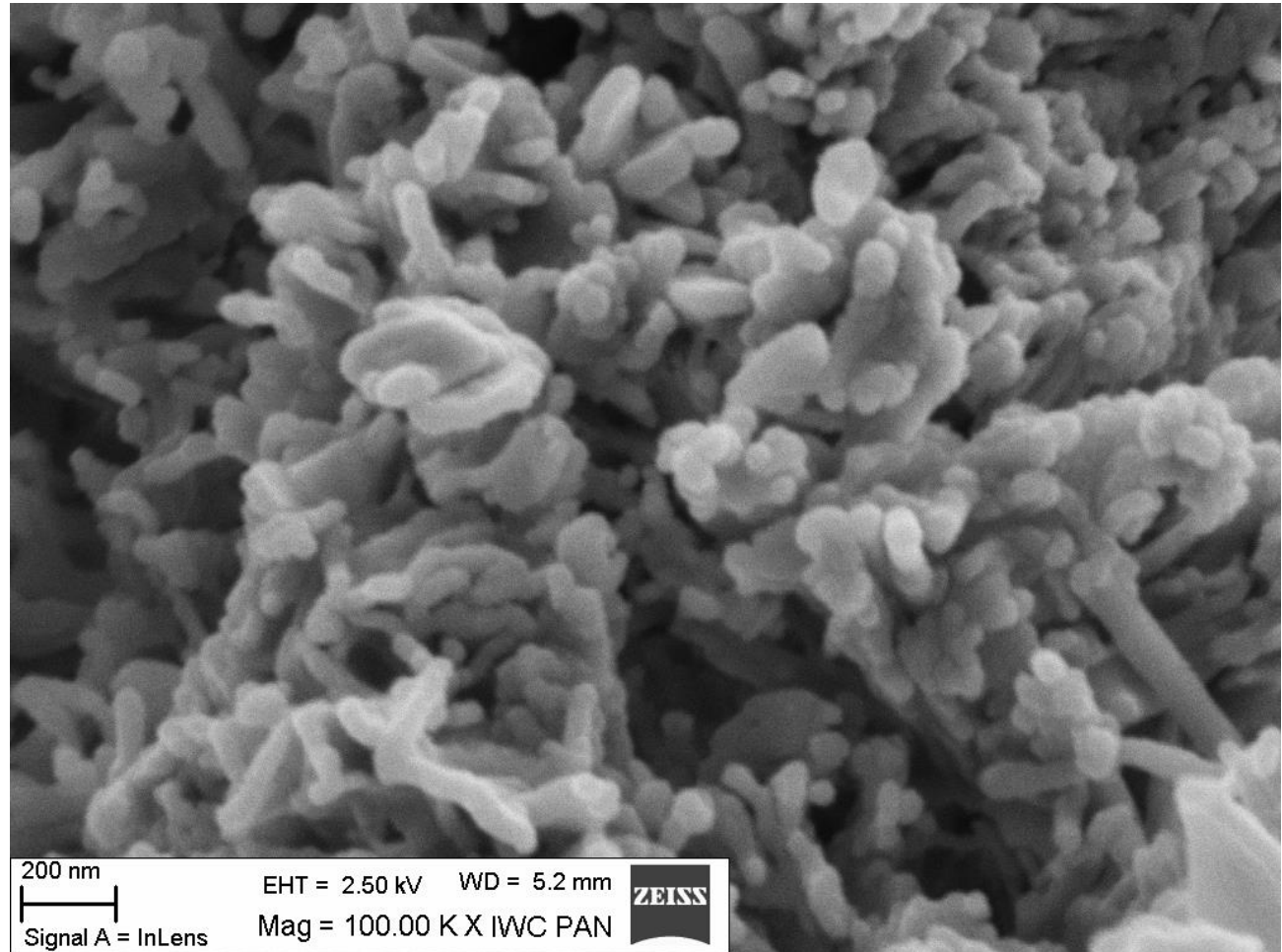
(5) partia 3 nieuzdatniony; 1900 cm<sup>2</sup>/g; (6) partia 3 mielony; 4060 cm<sup>2</sup>/g





## MIKROSTRUKTURA

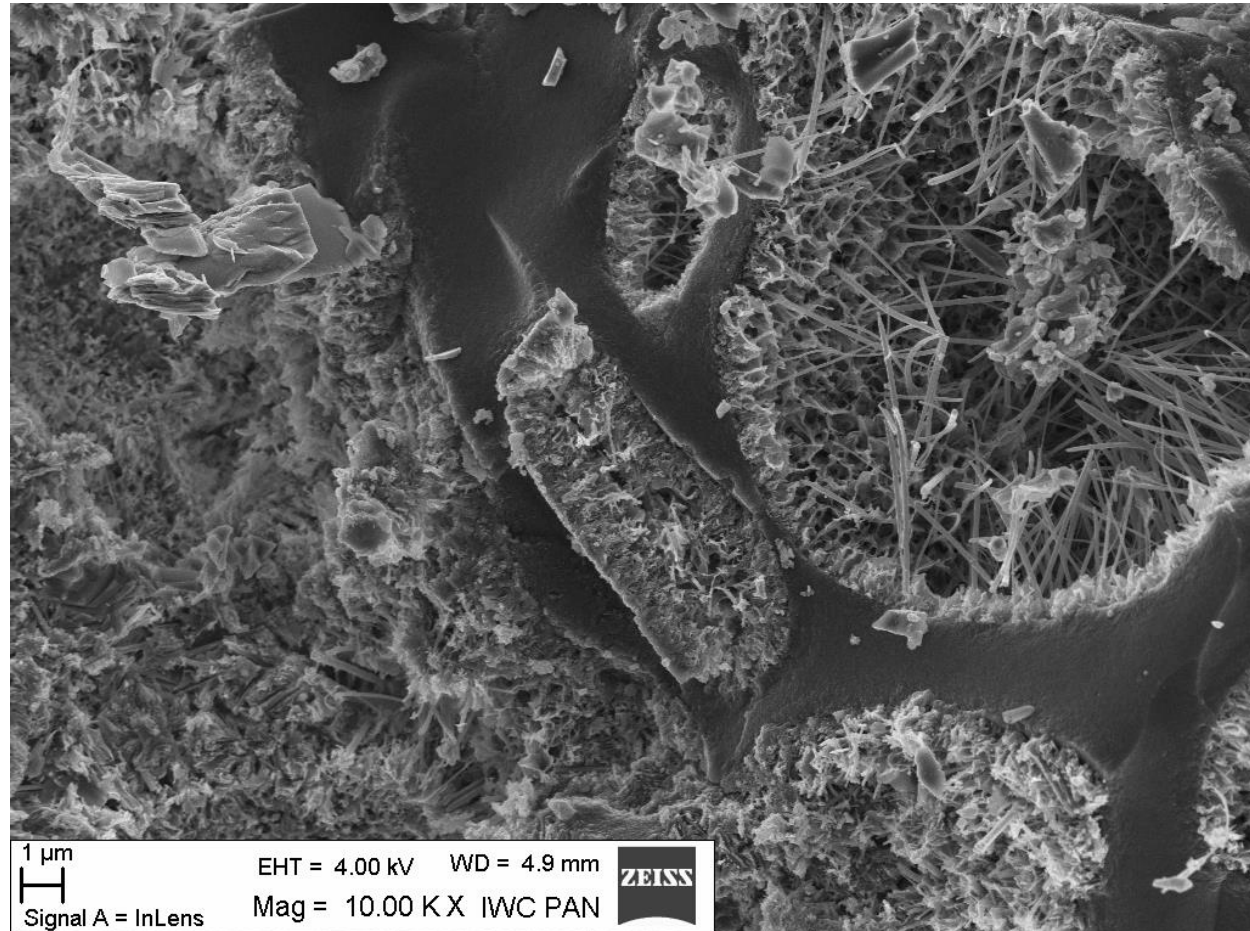
uwodnione  
krzemiany wapnia  
C-S-H  
o budowie ziarnistej  
100-200 nm



## MIKROSTRUKTURA

porowate ziarna  
niespalonego  
węgla

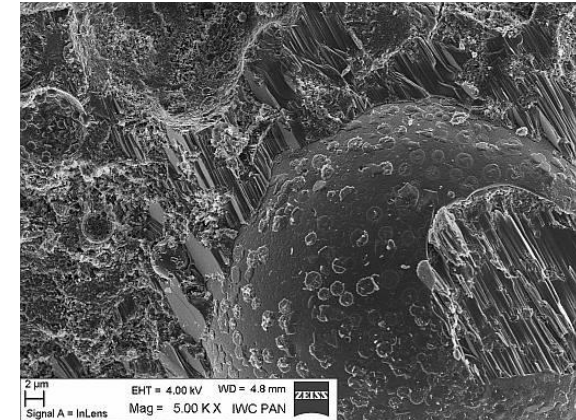
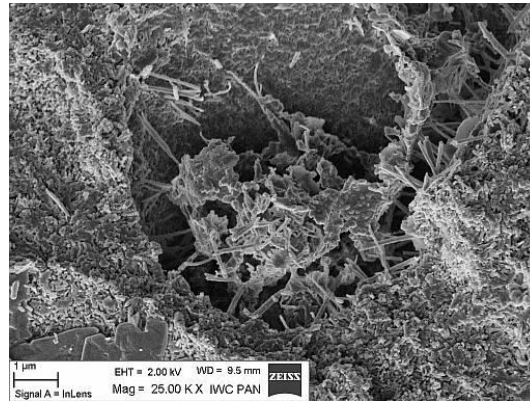
wewnątrz  
słupkowe kryształy  
ettringitu



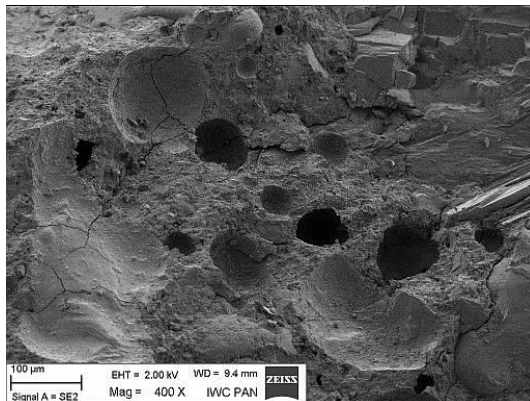


## ELEMENTY MIKROSTRUKTURY

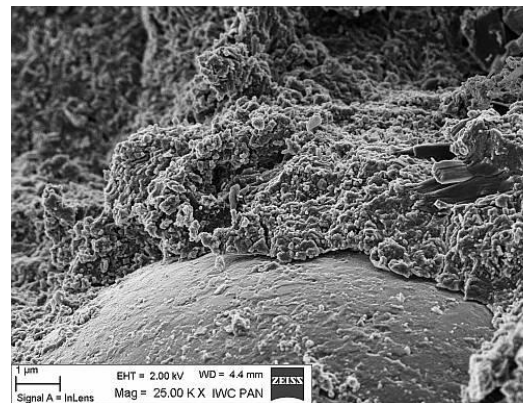
Ettringit  
częściowo  
wypełniający  
pustkę



Kuliste ziarno popiołu z wyraźnie zmienionymi powierzchniami, pokrytymi produktami hydratacji



Pustki powietrzne w matrycy cementowej



Granica między matrycą cementową a ziarnem piasku



## ANALIZA TERMICZNA MATRYC WYSEPAROWANYCH Z BETONÓW

Oznaczenie próbki betonu	Zawartość wybranych składników, % m/m					
	Woda związana			Wodoro- tlenek wapnia	Węglan wapnia	Strata prażenia do 1000°C
	HI*	HCH**	Σ***			
<b>CEM I 42.5 R</b>						
A1-0	9.65	2.63	12.28	10.81	10.74	17.01
A1-30S (30% dost)	8.80	0.86	9.66	3.53	6.40	12.48
A1-30M (30% miel)	7.87	0.68	8.55	2.79	5.90	11.16
N3-0	10.17	2.42	12.59	9.95	12.94	18.29
N3-30S (30% dost)	9.81	1.09	10.90	4.48	10.12	15.46
N3-30M (30% miel)	11.13	1.15	12.28	4.73	10.96	17.10

\*HI – woda związana w produktach hydratacji cementu

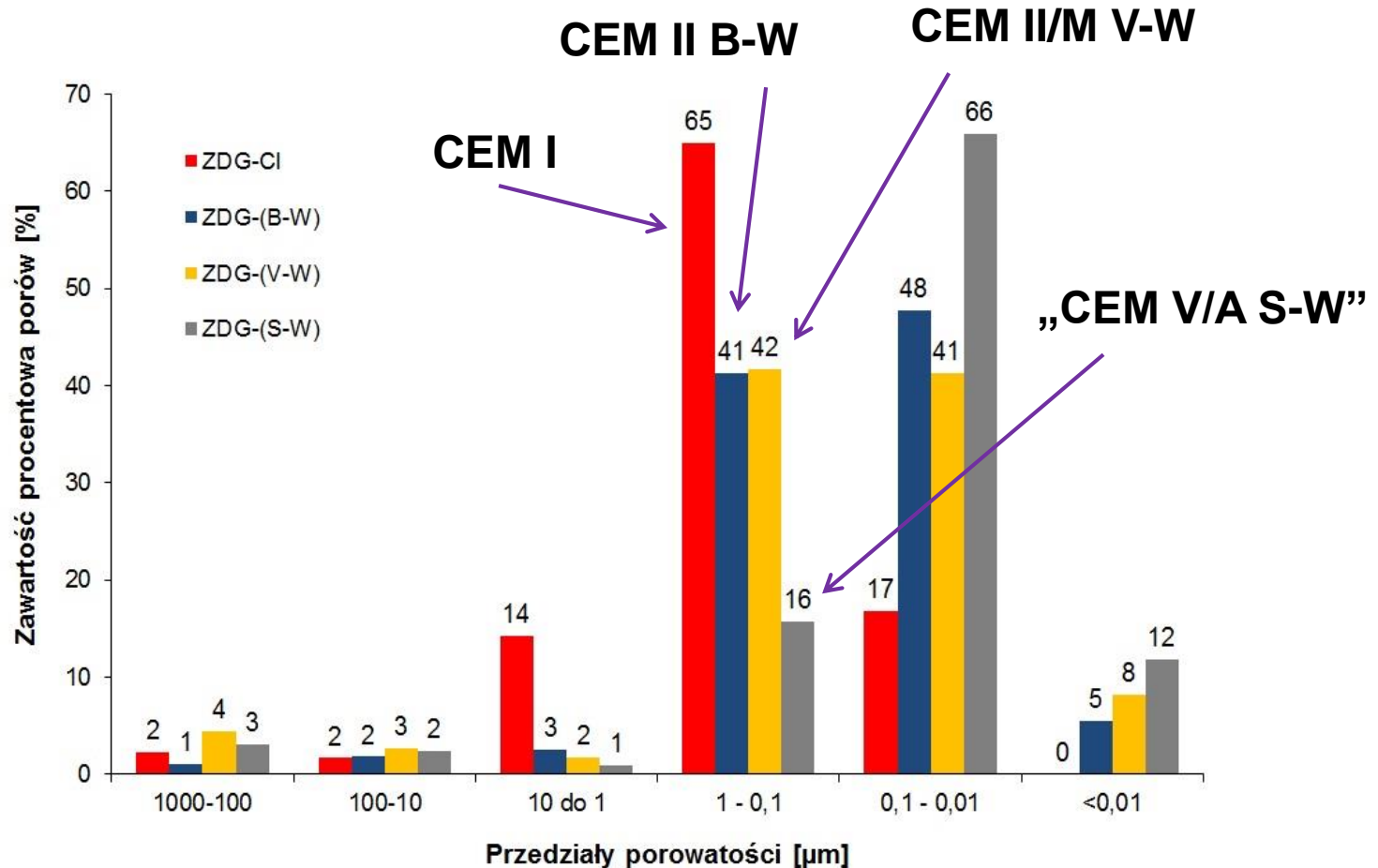
\*\* HCH – woda związana w wodorotlenku wapnia

\*\*\* Suma HI i HCH



# POROZYMETRIA RTĘCIOWA – ROZKŁAD WIELKOŚCI PORÓW

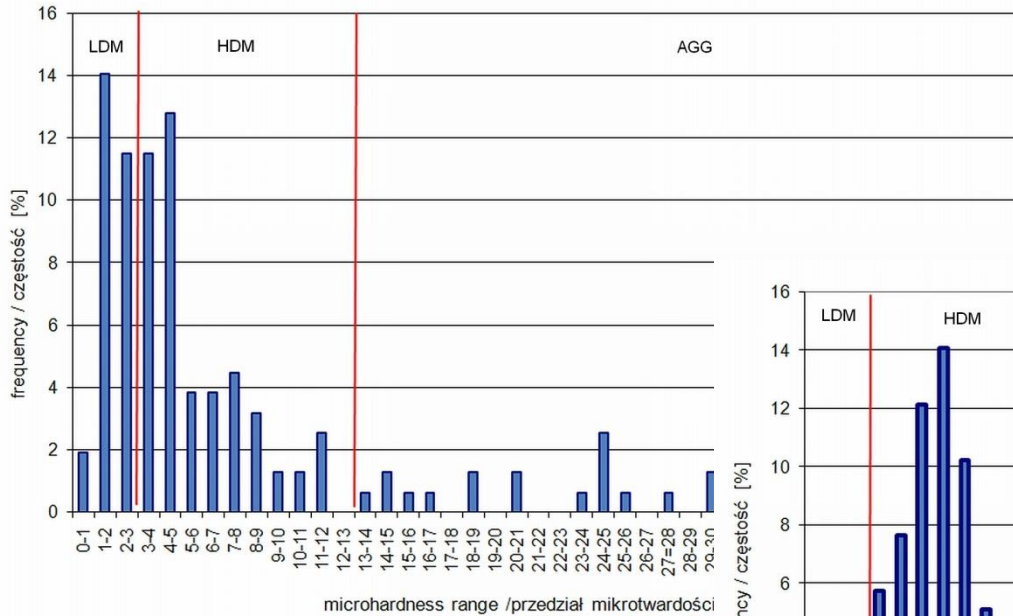
**Skład betonu:**  
zaw. cementu  
340 kg/m<sup>3</sup>  
w/c=0,45  
grys granodioryt.  
SPL  
DN



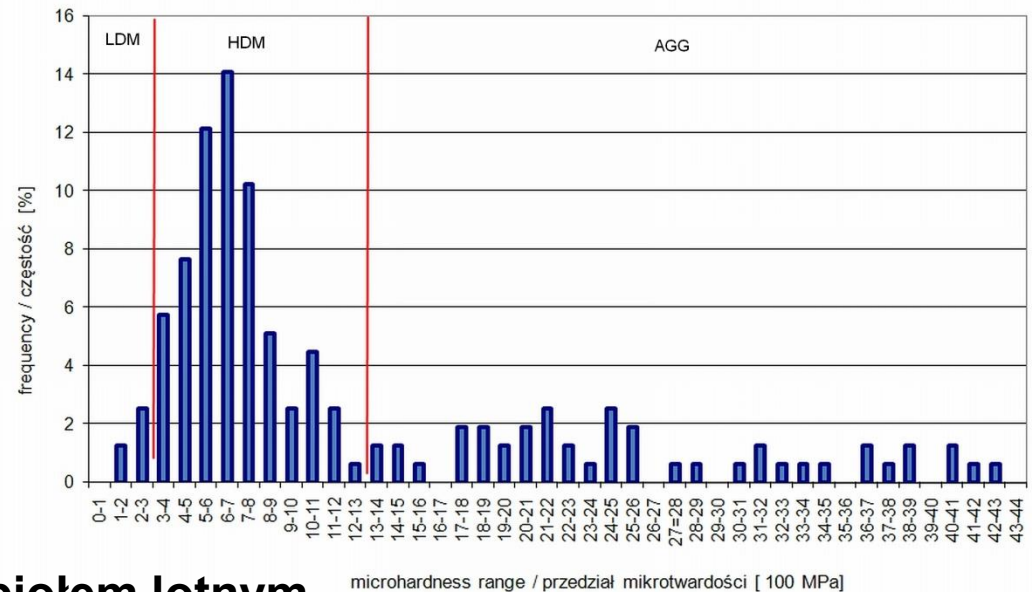




# HISTOGRAMY ROZKŁADU MIKROTWARDZOŚCI BETONU



**Beton bez dodatku A1-0**

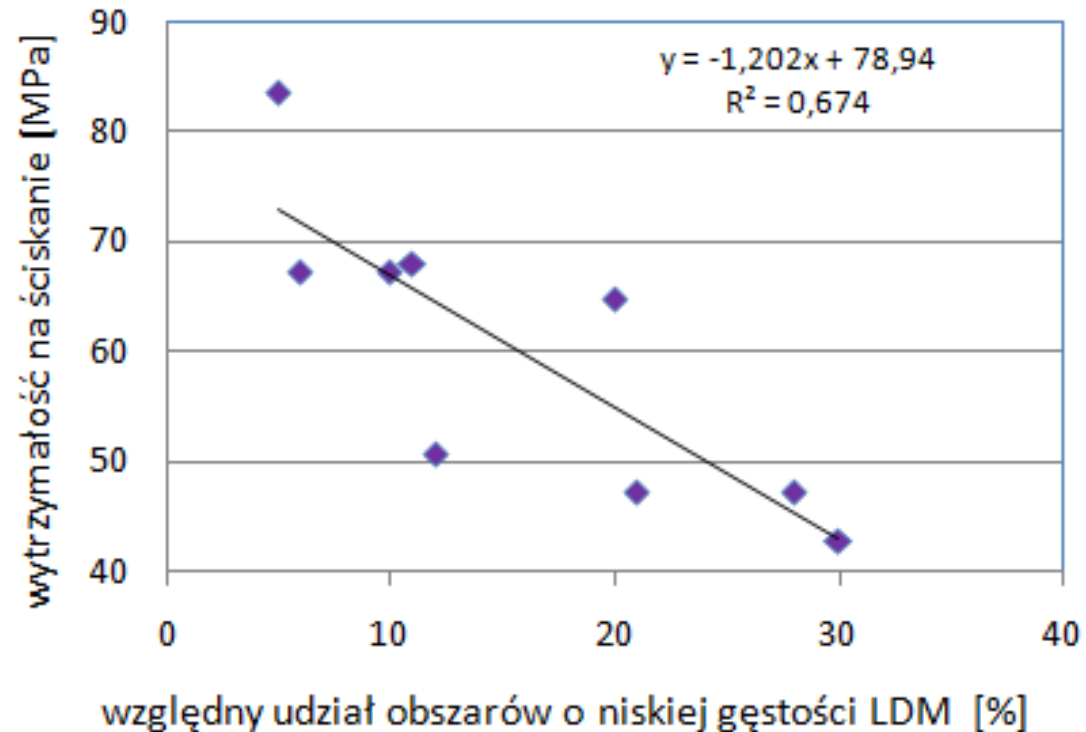


**Beton z popiołem lotnym wapiennym A1-30S**

microhardness range / przedział mikrotwardości [ 100 MPa]



## MIKROSTRUKTURA



**Zależność wytrzymałości betonu na ściskanie od względnej zawartości obszarów matrycy o niskiej gęstości**



## AUTOZARASTANIE RYS

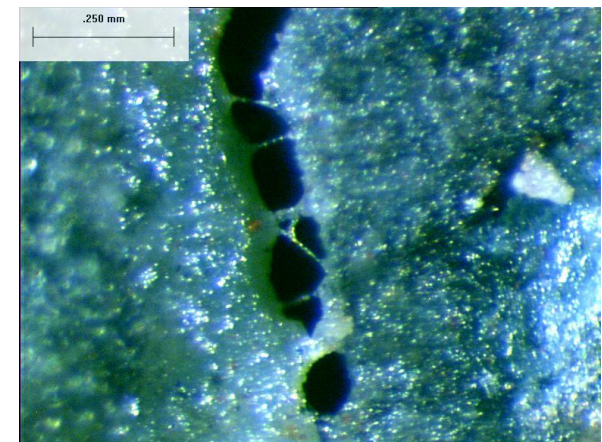
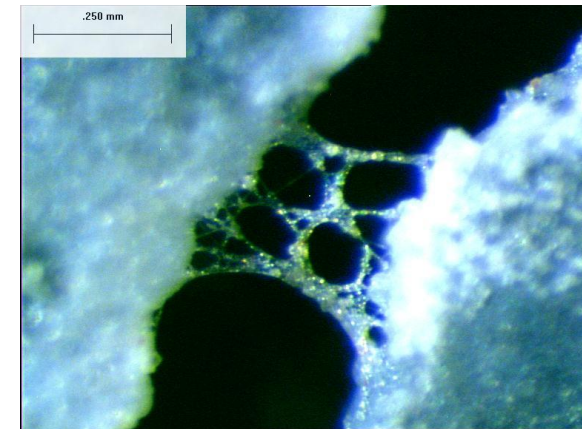
Badania zginania beleczek wstępnie zarysowanych i przechowywanych w wodzie wykazały wzrost sztywności beleczek, spowodowany zarastaniem rys, przy czym efekt był większy w zaprawach z **popiołem W**.

W mikrorysach po 24 tygodniach pielęgnacji w wodzie powstawał monosiarczan.

Dodatek **popiołu W** przyspieszył proces samozarastania rys, a zwłaszcza mikrorys.

Samozarastanie rys może mieć znaczenie praktyczne dzięki zmniejszeniu przepuszczalności betonowej warstwy otuliny zbrojenia.

Źródło: D. Józwiak-Niedźwiedzka, A.M. Brandt, Z. Ranachowski, CEMENT WAPNO BETON, nr 1, 2012





## WNIOSKI

- Matrycę cementową betonów z **popiołem W** tworzą drobnoziarniste i drobnoporowate uwodnione krzemiany wapnia C-S-H o wielkości do 200 nm, przeważnie w formie nieregularnych izometrycznych ziaren. W porach powietrznych występują igiełkowate kryształy ettringitu o wielkości 2- 7 $\mu$ m. Występują także kryształy portlandytu, przeważnie w postaci tabliczek heksagonalnych i wielkości do 4  $\mu$ m.
- Wskutek zastosowania **popiołu W** zawartość portlandytu w matrycy cementowej zmniejszyła się o 45 - 74%, a iloraz zawartości wody związanej w produktach hydratacji cementu w stosunku do zawartości wody związanej w wodorotlenku wapnia zwielokrotnił się 1,6-3,2 krotnie.



## WNIOSKI

- Określony na podstawie mikroindentacji względny udział obszarów matrycy o niskiej gęstości LDM mieścił się w granicach 5 -30%. Stwierdzono zbliżoną do liniowej zależność między wytrzymałością betonu na ściskanie i parametrem LDM, charakteryzującym w skali mikro właściwości matryc z **popiołem W**.
- Na podstawie porozymetrii rtęciowej stwierdzono przesunięcie rozkładu porów w kierunku mniejszych średnic przy zastosowaniu cementów CEM II B-W, CEM II/M V-W oraz CEM V/A S-W.





## DOTACJE NA INNOWACJE

# **INNOWACYJNE SPOIWA CEMENTOWE I BETONY Z WYKORZYSTANIEM POPIOŁU LOTNEGO WAPIENNEGO**

**Projekt nr POIG 01.01.02.24-005/09**

**"Innowacyjne spoiwa cementowe i betony  
z wykorzystaniem popiołu lotnego wapiennego"**

*[www.smconcrete.polsl.pl](http://www.smconcrete.polsl.pl)*



Instytut Podstawowych  
Problemów Techniki  
Polskiej Akademii Nauk



LIDER PROJEKTU



Instytut Ceramiki  
i Materiałów  
Budowlanych

**Projekt współfinansowany przez Unię Europejską z Europejskiego  
Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka**

**Konferencja Przedstawicieli Nauki i Przemysłu, Bronisławów, 23-24 maja 2013 r.**