



**Wskaźniki aktywności K28 i K90 popiołów lotnych  
krzemionkowych o mianości kategorii S dla różnych  
normowych cementów portlandzkich**

**Tomasz Baran, Mikołaj Ostrowski – OSiMB w Krakowie**

**XXV Międzynarodowa Konferencja  
Popioły z Energetyki 16-18.10.2018, Krynica Zdrój**

# Cel prezentacji

Wykazanie bardzo korzystnych właściwości popiołów lotnych krzemionkowych o mianości kategorii S oraz możliwości ich stosowania zarówno do produkcji cementu jak i betonu.

# Wymagania dla cementu

Zgodnie z normą PN-EN 450-1 „Popiół lotny do betonu”, do badań wskaźników aktywności mogą być stosowane porównawcze cementy portlandzkie CEM I, spełniające trzy główne kryteria:

- powierzchni właściwej (powyżej 3000 cm<sup>2</sup>/g),
- zawartości alkaliów (0,5 - 1,2 % Na<sub>2</sub>O<sub>e</sub>),
- zawartość C<sub>3</sub>A (6 - 12%).

## Wykorzystanie popiołów w Polsce

**Przemysł cementowy wykorzystuje w procesie produkcji cementów wieloskładnikowych około 2 mln ton krzemionkowych popiołów lotnych rocznie.**

**Taką samą ilość popiołów lotnych krzemionkowy wykorzystuje przemysł betonowy jako dodatek typu II do mieszanki betonowej.**

## Wymagania co do pochodzenia

Do produkcji cementu mogą być stosowane **krzemionkowe lub wapienne popioły lotne**, powstające w procesie spalania węgla w klasycznych paleniskach pyłowych - norma PN-EN 197-1

Norma PN-EN 450-1 dopuszcza jako aktywny dodatek typu II do betonu wyłącznie **krzemionkowy popiół lotny**, a od 2006 roku także krzemionkowy popiół lotny otrzymywany **z równoczesnego spalania węgla kamiennego i paliwa wtórnego**

# Wymagania wg PN-EN 450-1

Właściwość	Wymagania		
	Odmiana popiołu		
	Kategoria A	Kategoria B	Kategoria C
Strata prażenia:	≤ 5%	≤ 7%	≤ 9%
Zawartość chlorków (Cl <sup>-</sup> )	≤ 0,10%		
Zawartość siarczanów (SO <sub>3</sub> )	≤ 3,0%		
Zawartość wolnego wapna	≤ 1,5% (stałość objętości)		
Zawartość reaktywnego tlenku wapnia,	≤ 10,0%		
Miałkość:			
Odmiana N	< 40 % masy		
Odmiana S	< <b>12 % masy</b>		
Wodozadržność w stosunku do cementu wzorcowego - tylko dla odmiany S	< 95 %		
Wskaźniki aktywności:			
K28	Po 28 dniach >75%		
K90	Po 90 dniach >85%		

# Wymagania wg PN-EN 450-1

Właściwość	Wymagania		
	Odmiana popiołu		
	Kategoria A	Kategoria B	Kategoria C
<b>Dodatkowe cechy charakterystyczne popiołów z procesów z równoczesnego spalania</b>			
Zawartość reaktywnego dwutlenku krzemu	<b><math>\geq 25,0\%</math></b>		
Zawartość sumy tlenków ( $\text{SiO}_2$ , $\text{Al}_2\text{O}_3$ , $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	<b><math>\geq 70,0\%</math></b>		
Całkowita zawartość alkaliów jako $\text{Na}_2\text{O}_e$	<b><math>\leq 5,0\%</math></b>		
Zawartość tlenku magnezu	<b><math>\leq 4,0\%</math></b>		
Zawartość rozpuszczalnych fosforanów ( $\text{P}_2\text{O}_5$ )	<b><math>\leq 0,01\%</math> (<math>\leq 100 \text{ mg/kg}</math>)</b>		
Początek czasu wiązania cementu z dodatkiem popiołu (75 x 25)	<b><math>&lt; 2 \text{ x cement wzorcowy}</math></b>		
Stalność objętości	<b><math>&lt; 10 \text{ mm}</math></b>		

## **Materiały do badań**

- **Pozyskano 9 próbek popiołu lotnego krzemionkowego z różnych zakładów energetyki zawodowej (bez współspalania); kategoria miałkości N.**
- **Odseparowano, na drodze odsiania (odrzucenia) grubych frakcji, 9 próbek popiołu lotnego o miałkości kategorii S.**
- **7 próbek cementu portlandzkiego CEM I z różnych cementowni, zróżnicowane z uwagi na skład fazowy i chemiczny; głównie zawartość glinianu trójwapniowego oraz alkaliów.**



# Zakres badań.

- **Skład chemiczny popiołów lotnych krzemionkowych i cementów CEM I metodą XRF.**
- **Właściwości normowe popiołów, z uwagi wymagania normy PN-EN 450 -1**
- **w tym K28 i K90.**

## Składy chemiczne popiołów lotnych krzemionkowych o miążkości kategorii S

Oznaczenie popiołu	Składnik										Miążkość
	LOI dla N	LOI dla S	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	
	% masy,										
Popiół 1S	1,54	1,96	52,7	28,4	5,34	2,69	2,23	1,06	3,40	0,40	1,0
Popiół 2S	2,44	3,73	50,2	28,9	6,05	2,94	2,02	1,42	2,95	0,05	1,5
Popiół 3S	3,60	4,79	49,8	27,9	5,30	3,51	1,86	1,24	3,10	0,05	1,0
Popiół 4S	3,74	5,04	48,4	27,8	5,34	3,70	2,63	1,33	3,41	0,10	3,0
Popiół 5S	4,87	6,31	50,7	28,5	4,42	2,12	1,71	0,78	3,09	0,02	1,5
Popiół 6S	4,96	4,48	50,8	27,2	5,58	3,10	2,52	1,17	3,25	0,13	2,0
Popiół 7S	5,40	5,41	48,5	28,3	5,12	3,56	2,15	2,56	2,70	0,05	2,0
Popiół 8S	7,15	6,79	48,4	27,7	5,60	3,42	2,18	1,05	2,93	0,09	2,5
Popiół 9S	9,26	9,30	46,8	26,2	5,01	3,82	2,71	1,30	3,04	0,05	1,0

## Skład chemiczne i fazowy cementów

Składnik	Oznaczenie cementu						
	Cement 1	Cement 2	Cement 3	Cement 4	Cement 5	Cement 6	Cement 7
	% masy						
Str. Praż.	3,04	3,13	4,85	4,75	3,28	1,23	3,07
SiO <sub>2</sub>	19,83	19,71	19,34	19,26	19,89	20,82	19,80
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,37	4,60	5,26	5,14	4,73	4,41	4,39
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,36	3,54	2,28	2,75	2,26	5,34	3,38
CaO	64,19	62,14	62,56	61,91	63,17	63,31	64,15
MgO	0,60	2,33	1,59	1,36	1,78	0,93	0,59
SO <sub>3</sub>	2,89	3,05	2,75	3,11	3,31	2,57	2,29
Na <sub>2</sub> O	0,21	0,09	0,12	0,14	0,13	0,33	0,20
K <sub>2</sub> O	0,51	0,89	0,68	0,83	0,82	0,25	0,51
Na <sub>2</sub> O <sub>e</sub>	0,55	0,68	0,57	0,69	0,67	0,50	0,55
Skład fazowy obliczony wzorami Bogue'a, % masowy							
C <sub>3</sub> S	68	59	61	58	62	55	68
C <sub>2</sub> S	4	11	8	10	9	17	4
C <sub>3</sub> A	6	6	10	9	9	3	6
C <sub>4</sub> AF	10	11	7	8	7	16	10

# Mieszanki do badań wskaźników K28 i K90

- Wykonano mieszanki, zawierające 25% popiołu i 75% cementu. Mieszanki do badań o ww. proporcji popiołu i cementu, uzyskano przez uśrednianie na mieszadle rolkowym przez ok. 30 minut składników, odważanych do pojemników plastikowych wypełnionych korkami gumowymi.
- Wykonano 63 mieszanki z popiołem o mialkości Kategorii S.
- Wszystkie mieszanki poddano badaniom wytrzymałości na ściskanie po 28 i 90 dniach.

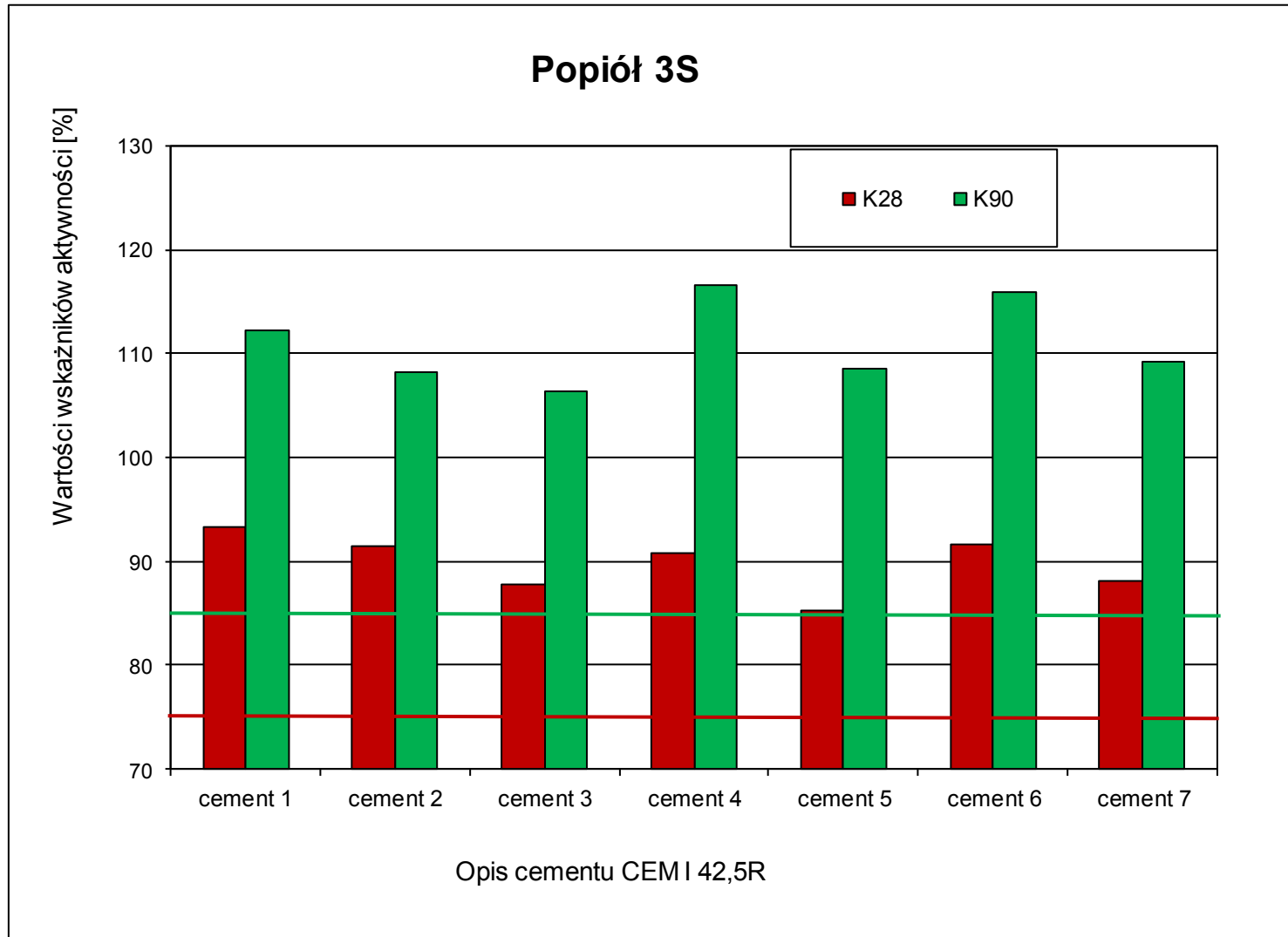
# Właściwości popiołów lotnych krzemionkowych wg PN-EN 450-1

Właściwość	Wymagania	Wyniki dla S
Strata prażenia:	$\leq 9 \%$	$< 9,3 \%$ (1 próbka)
Zawartość chlorków (Cl <sup>-</sup> )	$\leq 0,10 \%$	$< 0,04 \%$
Zawartość siarczanów (SO <sub>3</sub> )	$\leq 3,0 \%$	$\leq 0,4 \%$
Zawartość wolnego wapna	$\leq 1,5 \%$	$< 0,3 \%$
Zawartość reaktywnego tlenku wapnia,	$\leq 10 \%$	$\leq 4 \%$ (całkowite)
Miałkość: Odmiana N Odmiana S	$< 40 \%$ masy $< 12 \%$ masy	$\leq 3,0 \%$ masy
Wodożądność w stosunku do cementu porównawczego - tylko dla odmiany S	$< 95 \%$	$< 94 \%$
Wskaźniki aktywności: K28 K90	Po 28 dniach $\geq 75\%$ Po 90 dniach $\geq 85\%$	<b>Dalej</b>

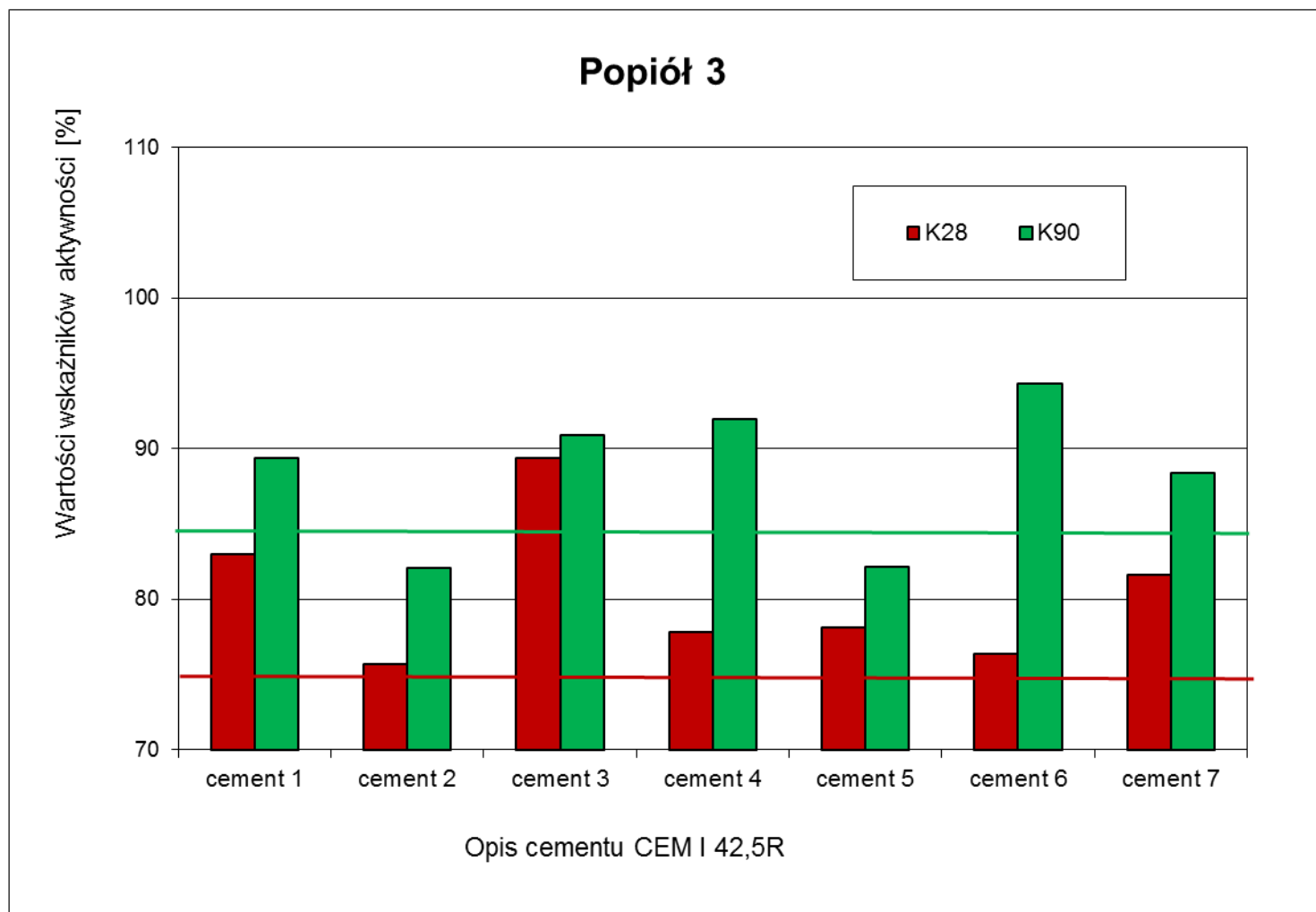
## Wskaźniki aktywności dla cementu 4

Rodzaj dodanego popiołu kat S	Wytrzymałość na ściskanie, MPa		Wartości wskaźników aktywności, %	
	Po 28 dni	Po 90 dni	K28	K90
Bez popiołu, tzw. cement porównawczy	47,8	56,2	<b>100</b>	<b>100</b>
Popiół 1S	40,2	64,6	84,2	115,0
Popiół 2S	46,0	71,3	96,3	126,8
Popiół 3S	43,4	65,6	90,8	116,7
Popiół 4S	43,1	63,5	90,2	113,0
Popiół 5S	43,6	61,8	91,3	109,9
Popiół 6S	44,1	67,6	92,2	120,2
Popiół 7S	45,5	71,5	95,2	127,2
Popiół 8S	44,4	67,8	92,8	120,7
Popiół 9S	45,9	70,3	96,1	125,0

# Wskaźniki aktywności dla popiołu 3S

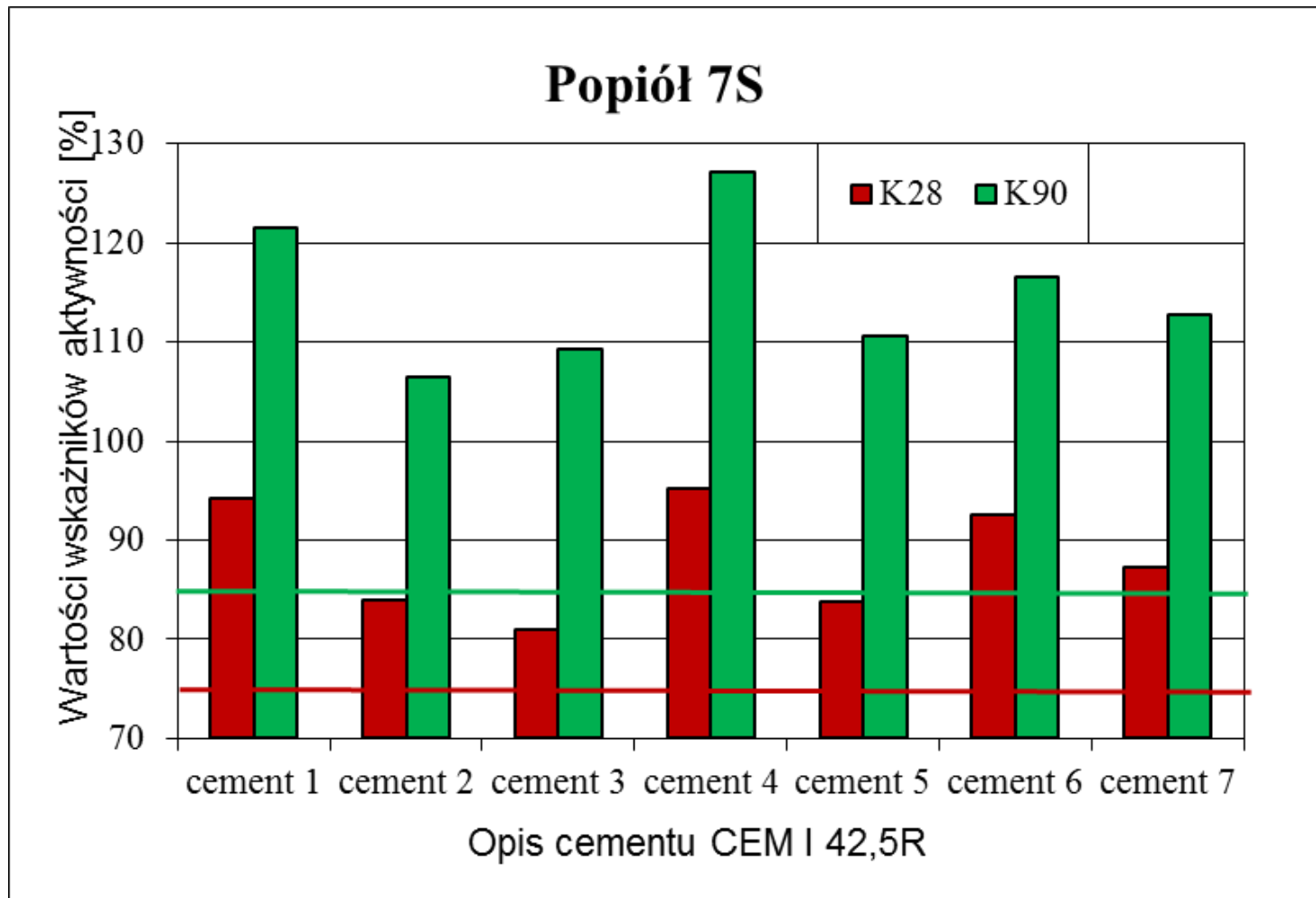


# Wskaźniki aktywności dla popiołu 3 (kat N)





## Wskaźniki aktywności dla popiołu 7S (kat S)



# Wnioski

- Z pośród przebadanych 63 próbek cementów popiołowych tylko 2 próbki (3%) nie spełniały wymagań wartości wskaźnika aktywności K28, tj. minimum 75% w odniesieniu do wytrzymałości na ściskanie danego cementu portlandzkiego bez dodatku.
- Z kolei wszystkie próbki spełniały i to z dużym zapasem, wartości wskaźnika aktywności K90, tj. minimum 85% w odniesieniu do wytrzymałości na ściskanie danego cementu portlandzkiego bez dodatku.

# Wnioski

- 60 próbek cementów popiołowych (95%) uzyskało wartości wskaźnika aktywności K90, powyżej 100%, czyli te cementy popiołowe uzyskały wytrzymałości na ściskanie po 90 dniach większe niż cement portlandzki. Takie wyniki sugerują na stosowanie popiołów lotnych krzemionkowych o mianości kategorii S zarówno do produkcji cementu jak i betonu.
- Należy podkreślić korzyści ekonomiczne i ekologiczne ze stosowania odpadowego popiołu lotnego krzemionkowego o mianości kategorii S do cementu i betonu, w miejsce drogiego, energochłonnego klinkieru portlandzkiego.

**XXV Międzynarodowa Konferencja**

**Popioły z Energetyki**

**16-18.10.2018, Krynica Zdrój**

**Dziękujemy Państwu  
za uwagę**

**Tomasz Baran, Mikołaj Ostrowski – OSiMB w Krakowie**