



**Instytut Ceramiki
i Materiałów
Budowlanych**

**Międzynarodowa Konferencja
Popioły z Energetyki- Zakopane 19-21.X.2016 r.**

Wpływ popiołów lotnych krzemionkowych kategorii S na wybrane właściwości kompozytów cementowych

Mikołaj Ostrowski, Tomasz Baran
Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Krakowie

Zbigniew Giergiczny
Politechnika Śląska, Góraźdże Cement SA

Zakopane, 19-21.10. 2016 r.



Plan Prezentacji

- I. Cel naukowy badań
- II. Wprowadzenie
 - Popiół lotny krzemionkowy kategorii N i S jako składnik cementu wg PN-EN 197-1:2012 i dodatek typu II do betonu wg PN-EN 450-1
 - Możliwości aplikacji popiołu lotnego krzemionkowego
- III. Metody i materiały do badań
- IV. Wyniki badań
- V. Wnioski

Zakopane, 19-21.10.2016 r.

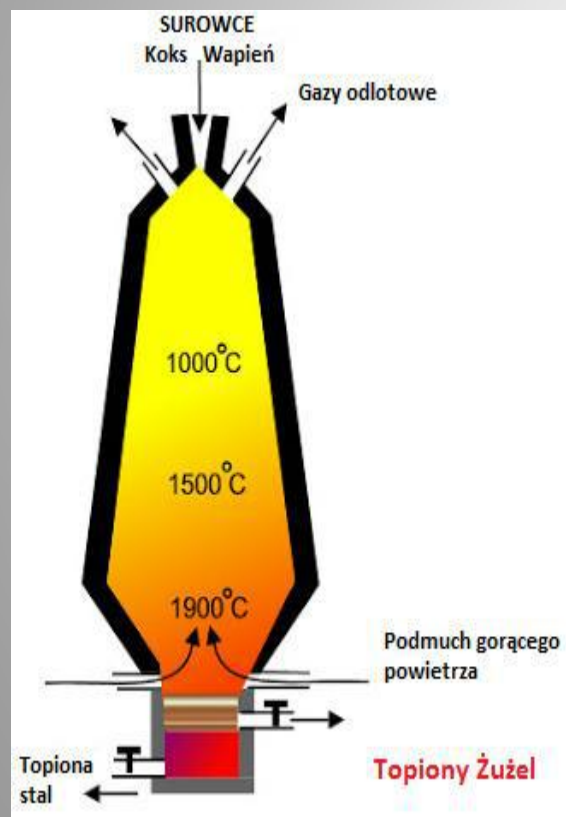


Cel naukowy badań

- ✓ Określenie wpływu drobnych frakcji popiołów lotnych krzemionkowych na właściwości fizykochemiczne zapraw cementowych w zakresie cech charakterystycznych będących przedmiotem oceny zgodności wg normy PN-EN 197-1.
- ✓ Efekty technologiczne procesu separacji dynamicznej popiołu lotnego i selektywnego odbioru popiołu lotnego z poszczególnych sekcji elektrofiltra.

Dodatki do cementu wg PN-EN 197-1: 2012

Granulowany żużel wielkopiecowy (S)



Popiół lotny Krzemionkowy (V)



- Pył krzemionkowy (D)
- Pucolana (P, Q)
- Popiół lotny wapienny (W)
- Łupek palony (T)
- Wapień (L,LL)

Wymagania dla popiołu lotnego krzemionkowego jako dodatku do cementu i betonu

wg PN EN 197-1: 2012

- ✓ CaO reaktywny < 10%
- ✓ CaO wolny $\leq 1,0\%^*$
- ✓ SiO₂ reaktywny $\geq 25\%$
- ✓ Straty prażenia < 0 - 5,0%
< 2,0 - 7,0%
< 4,0 - 9,0%

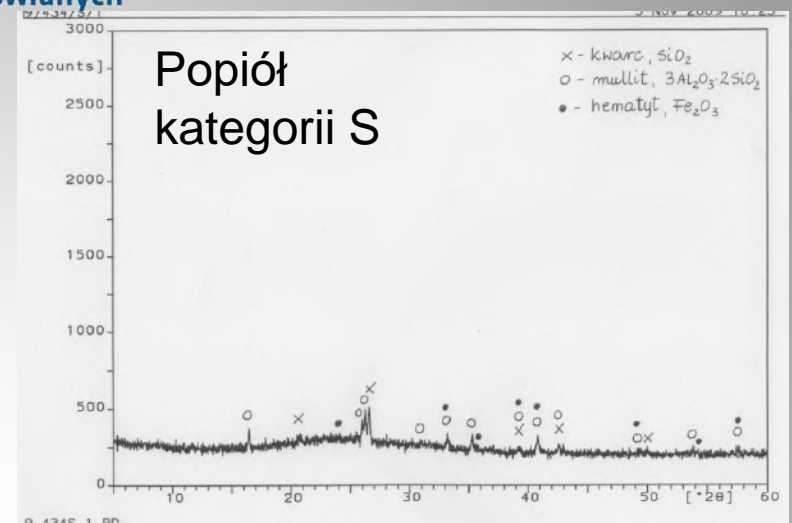
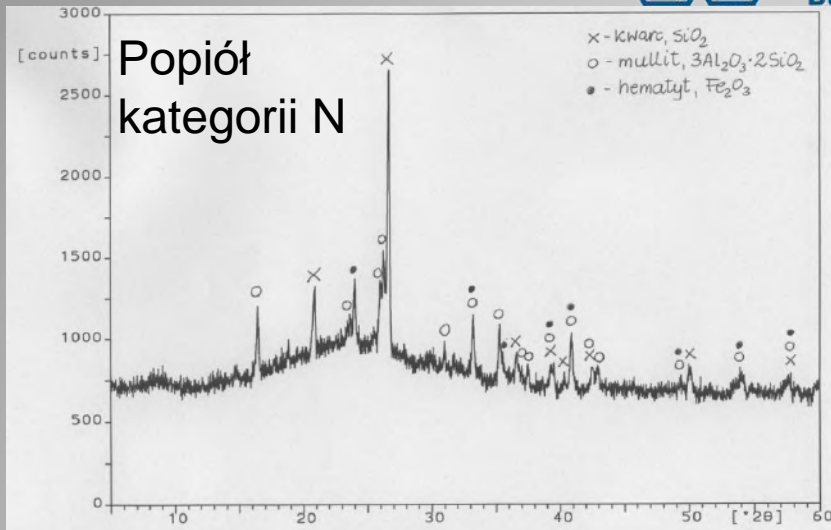
wg PN EN 450-1: 2012

Właściwość	Wymagania		
	Odmiana popiołu		
	Kategoria A	Kategoria B	Kategoria C
Strata prażenia:	< 5%	< 7%	< 9%
Zawartość chlorków (Cl ⁻)	$\leq 0,10\%$		
Zawartość siarczanów (SO ₃)	$\leq 3,0\%$		
Zawartość reaktywnego tlenku wapnia,	$\leq 10,0\%$		
Miałkość:			
Odmiana N	< 40 % masy		
Odmiana S	< 12 % masy		
Wodożądność w stosunku do cementu wzorcowego - tylko dla odmiany S	< 95 %		
Wskaźniki aktywności:			
K28	Po 28 dniach >75%		
K90	Po 90 dniach >85%		

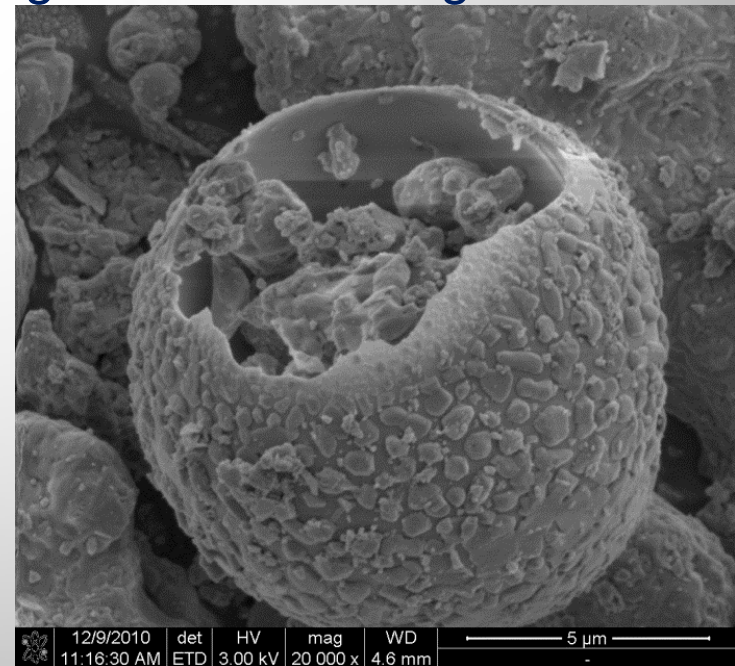
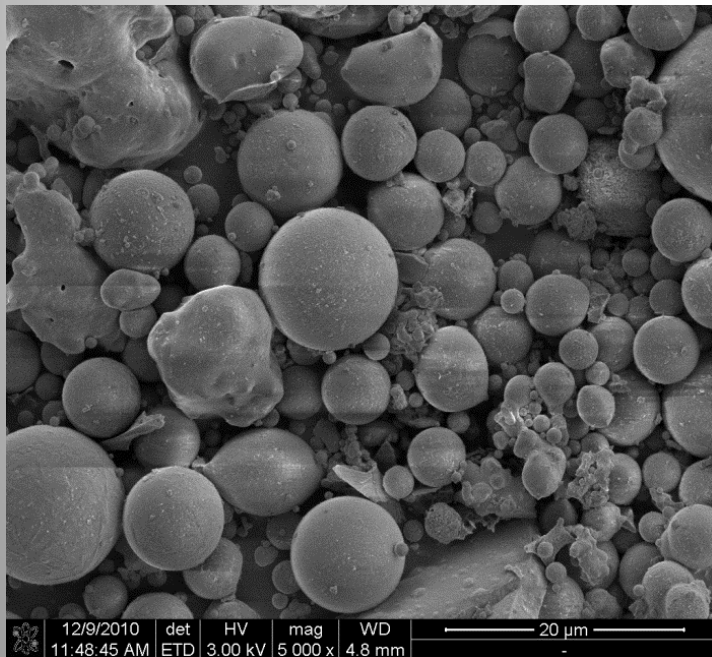
Wprowadzenie

Wymagania dla popiołu lotnego krzemionkowego jako dodatku do betonu wg PN EN 450-1

Właściwość	Wymagania		
	Odmiana popiołu		
	Kategoria A	Kategoria B	Kategoria C
Dodatkowe cechy charakterystyczne popiołów z procesów z równoczesnego spalania			
Zawartość reaktywnego dwutlenku krzemu	≥ 25,0%		
Zawartość sumy tlenków (SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃)	≥ 70,0%		
Całkowita zawartość alkaliów jako Na ₂ O _e	≤ 5,0%		
Zawartość tlenku magnezu	≤ 4,0%		
Zawartość rozpuszczalnych fosforanów (P ₂ O ₅)	≤ 0,01% (≤ 100 mg/kg)		
Początek czasu wiązania cementu z dodatkiem popiołu (75 x 25)	< 2 x cement wzorcowy		
Wodożądność w stosunku do cementu wzorcowego - tylko dla odmiany S	< 95 %		
Stołość objętości	< 10 mm		



Faza szklista popiołu lotnego krzemionkowego



Mikrografie skaningowe mikroskopu elektronowego SEM

Możliwości aplikacji

- ❑ do produkcji cementów: CEM II/A,B-V, CEM II/A,B-M, CEM IV/A,B, CEM V/A,B
- ❑ do produkcji betonów: zwykłych, towarowych, samozagęszczalnych, wysokowartościowych (popiół kat. S), komórkowych
- ❑ do produkcji spoiw:
 - popiołowo – cementowych
 - popiołowo – wapiennych
 - popiołowo – wapienno – gipsowych
- ❑ do produkcji autoklawizowanych materiałów budowlanych
- ❑ do produkcji kruszyw
- ❑ w budownictwie komunikacyjnym:
 - nasypy
 - stabilizacja gruntów i kruszyw

Metody i materiały do badań

➤ Stosowano popiół lotny krzemionkowy kategorii N

Właściwości fizykochemiczne popiołu lotnego krzemionkowego w stanie dostawy

Rodzaj materiału	Zawartość [% masy]	Miałkość [%]	Wskaźnik aktywności [%]		
			K28	K90	
Popiół lotny krzemionkowy V	SiO ₂	51,37	37,4	88,1	95,3
	Al ₂ O ₃	27,80			
	Fe ₂ O ₃	6,55			
	CaO	2,97			
	MgO	2,51			
	SO ₃	0,23			
	Na ₂ O	0,68			
	K ₂ O	3,54			
	Strata prażenia	2,63			

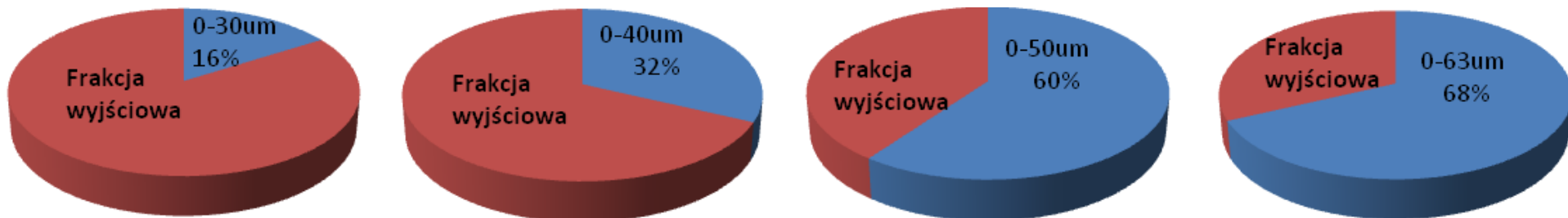
➤ Metodą separacji dynamicznej rozseparowano badany popiół na drobne frakcje.



Separacja dynamiczna

W wyniku separacji dynamicznej popiołu lotnego uzyskano 4 frakcje spełniające kryteria popiołu lotnego kategorii S

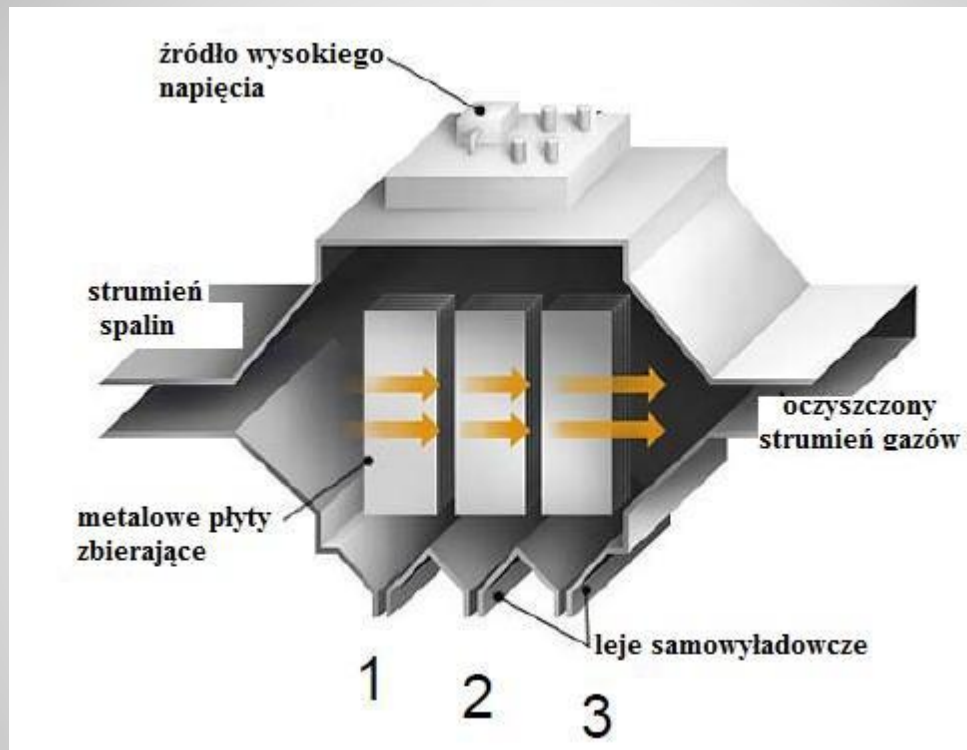
Udział poszczególnych frakcji popiołu lotnego uzyskanych w wyniku separacji dynamicznej



Sporządzono 5 cementów z 30% dodatkiem każdej frakcji

- CEMI 42,5R + 30% frakcji wyjściowej popiołu lotnego krzemionkowego V
- CEMI 42,5R + 30% frakcji 0-30 μm popiołu lotnego krzemionkowego V
- CEMI 42,5R + 30% frakcji 0-40 μm popiołu lotnego krzemionkowego V
- CEMI 42,5R + 30% frakcji 0-50 μm popiołu lotnego krzemionkowego V
- CEMI 42,5R + 30% frakcji 0-63 μm popiołu lotnego krzemionkowego V

Selektywny odbiór popiołu lotnego krzemionkowego



Sekcje elektrofiltra; wypad popiołu [%mas.]:

sekcja	S-1	ok. 86 %
sekcja	S-2	ok. 11%
sekcja	S-3	ok. 3%



Zakres badań

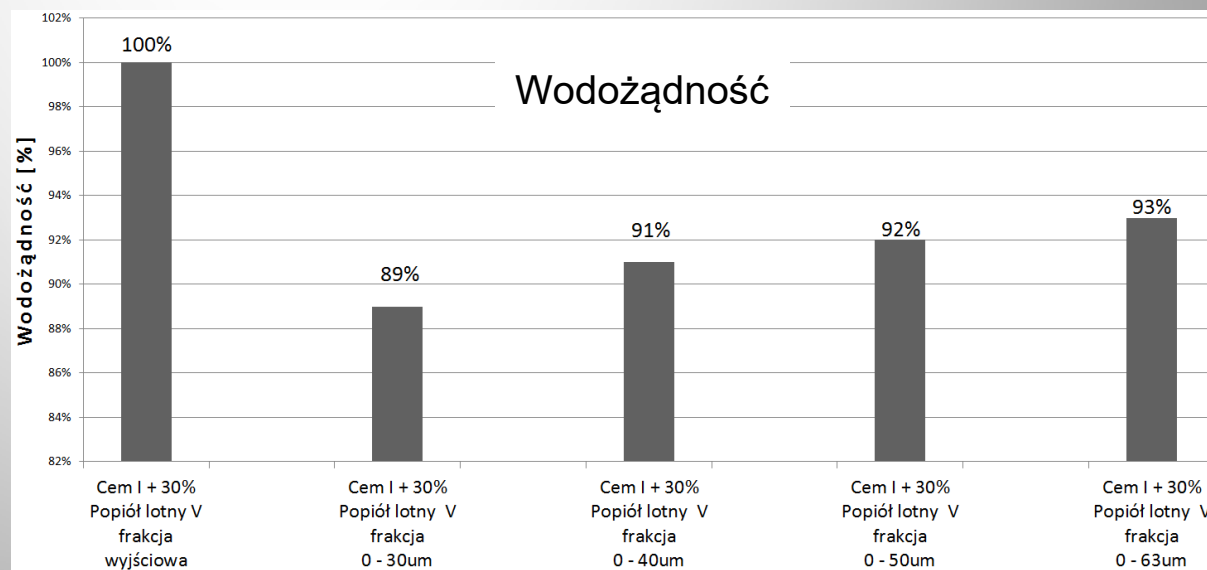
Badania z użyciem popiołu lotnego krzemionkowego przed separacją (N), po separacji (S) i popiołu selektywnie odebranego z poszczególnych sekcji elektrofiltrów

- Miałkość wg PN EN 450-1: 2012
- Wodożądność wg PN EN 450-1: 2012
- Wytrzymałość wg PN-EN 196-1
- Aktywność wg PN-EN 197-1 i PN EN 450-1
- Skład ziarnowy – analizator laserowy Malvern
- Morfologia i analiza pierwiastkowa – SEM/EDS

Badania z użyciem popiołu lotnego krzemionkowego przed separacją (N) i po separacji (S)

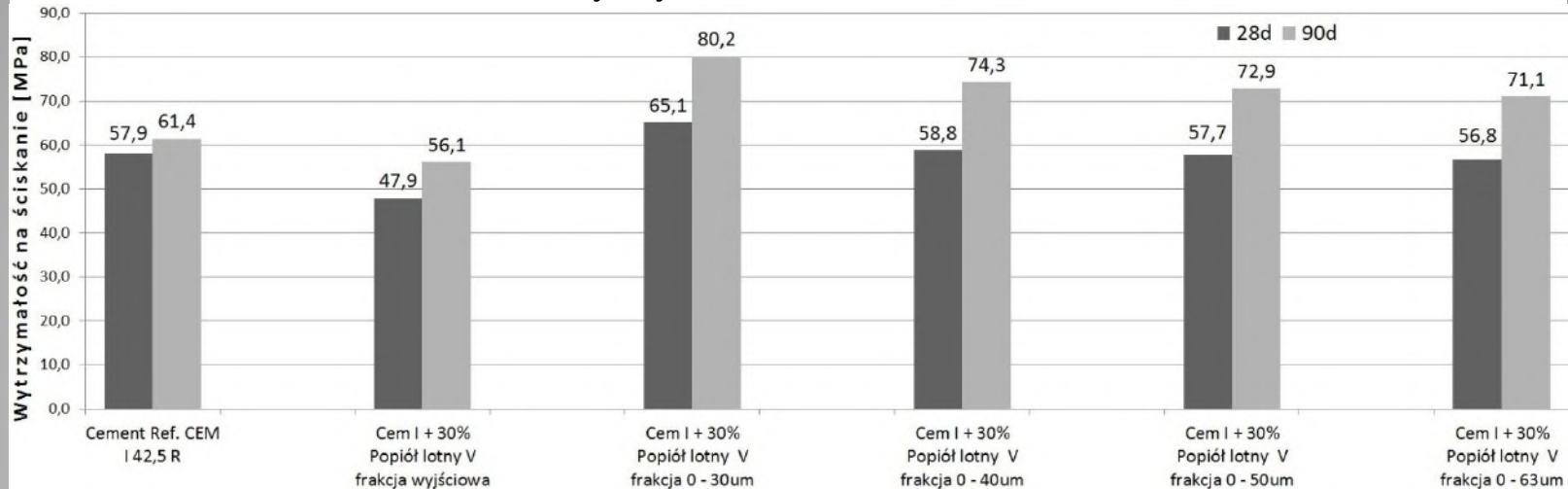


Miałkość – pozostałość na sicie 45 µm	
Frakcja popiołu lotnego krzemionkowego V	Miałkość [%]
frakcja wyjściowa	37,4
0-30 µm	0
0-40 µm	0
0-50 µm	1,2
0-63 µm	2,8

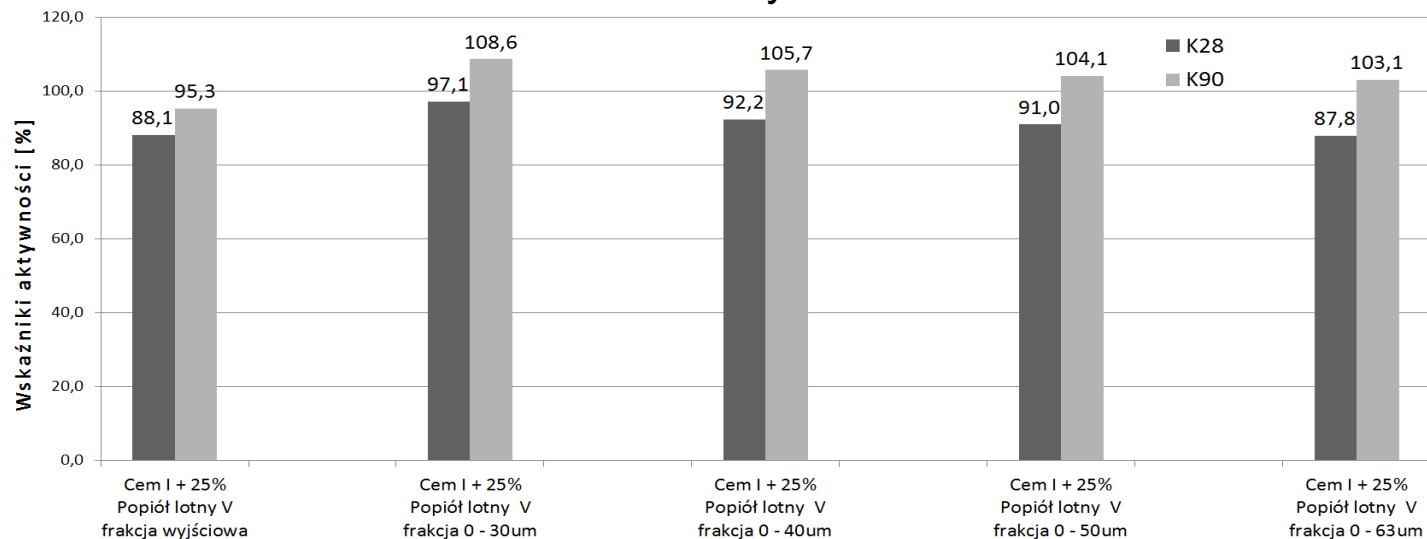


Badania z użyciem popiołu lotnego krzemionkowego przed separacją (N) i po separacji (S)

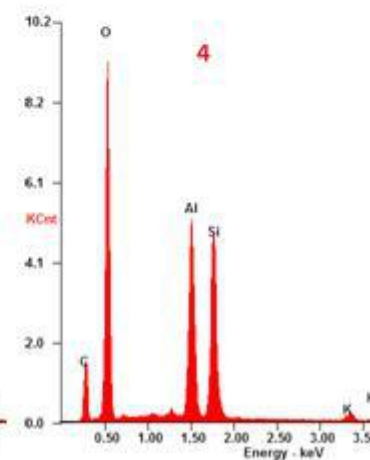
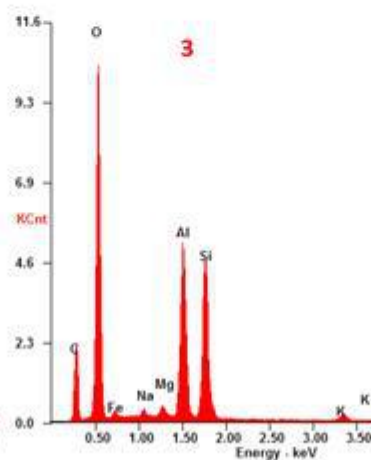
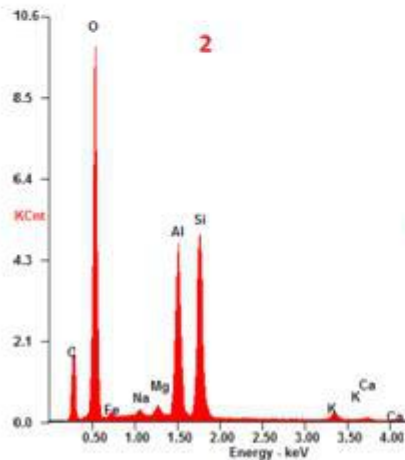
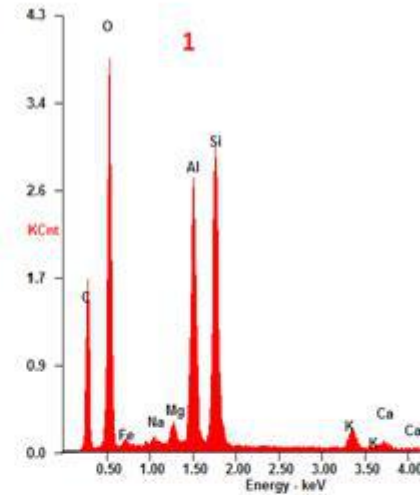
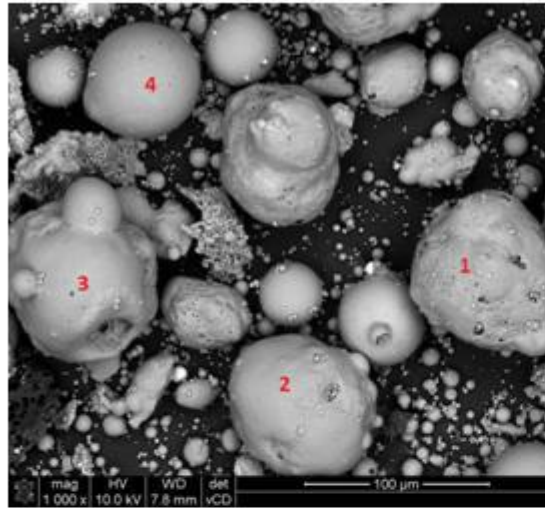
Wytrzymałość na ściskanie



Wskaźniki aktywności

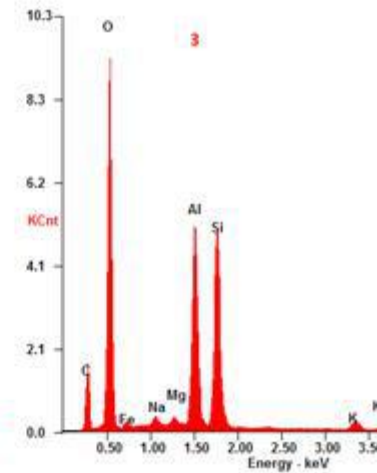
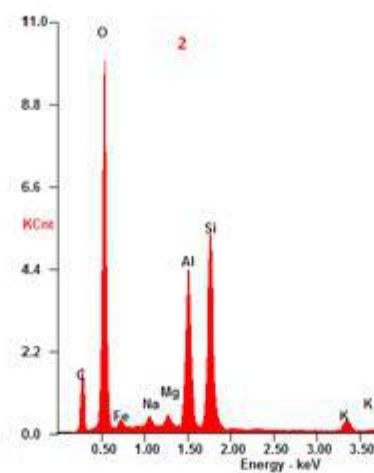
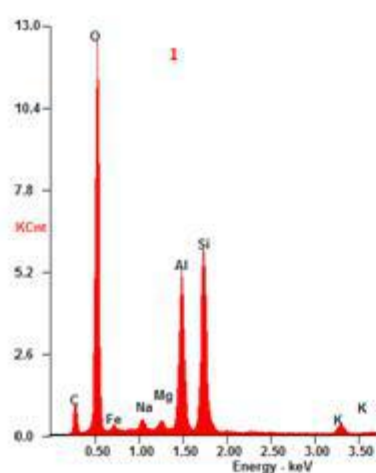
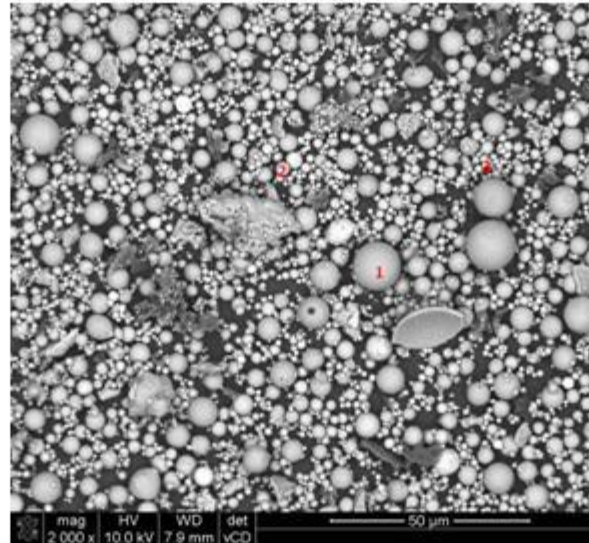


Badania z użyciem popiołu lotnego krzemionkowego przed separacją (N) i po separacji (S)



Mikrofotografia SEM z analizą pierwiastkową EDS frakcji wyjściowej popiołu lotnego krzemionkowego V. Powiększenie 1000x.

Badania z użyciem popiołu lotnego krzemionkowego przed separacją (N) i po separacji (S)

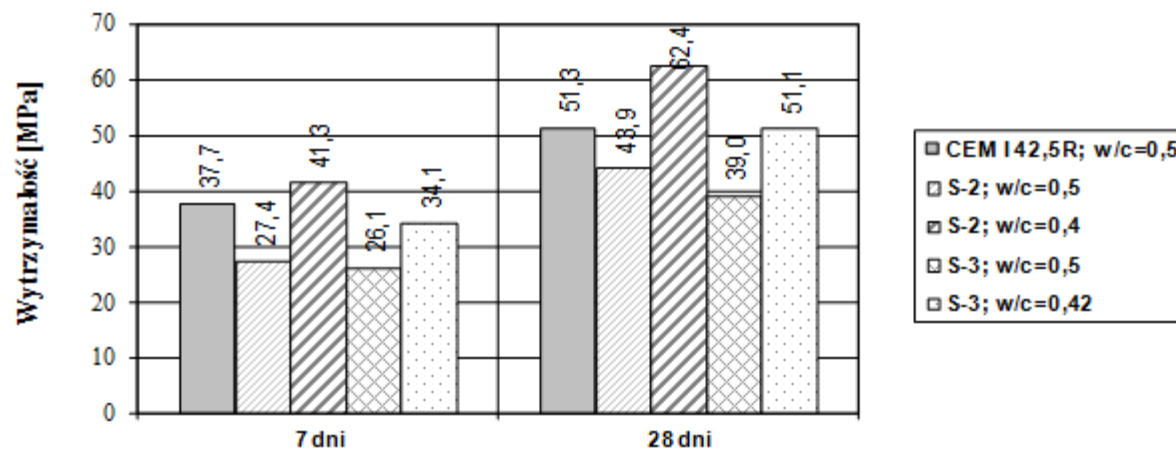


Mikrofotografia SEM z analizą pierwiastkową EDS frakcji 0-30 μm popiołu lotnego krzemionkowego V. Powiększenie 2000x.

Badania z użyciem popiołu lotnego krzemionkowego z selektywnego odbioru z elektrofiltra

Sekcja	Zawartość strat prażenia, % masy	Kategoria wg PN-EN 450-1	Pozostałość na sicie 45 μ m % masy	Wodożądność, % masy	Kategoryzacja wg PN-EN 450-1
S-2	1,79	A	1,0	84,4	S
S-3	3,55	A	10,7	90,7	S

Sekcja	Wskaźnik aktywności [%] po upływie	
	28 dni	90 dni
Popiół N	88,1	95,3
S-2	104,4	128,3
S-3	96,0	114,0



Wytrzymałość na ściskanie zapraw o jednakowej konsystencji (30% popiołu selektywnie odebranego)



Wnioski

- Frakcjonowane popioły lotne i selektywnie odbierane wykazały ten sam skład fazowy co popiół lotny wyjściowy ale większą ilość reaktywnej fazy szklistej w popiołach kategorii S i znikomą zawartość krystalicznej fazy
- Popiół lotny krzemionkowy kategorii S charakteryzuje się niższą wodożądnością co pozwala otrzymać odpowiednią konsystencję kompozytu cementowego przy niższej wartości współczynnika w/c
- Ze wzrostem miążkości popiołu w cementach popiołowych obserwuje się spadek wodożądności, co prowadzi do wyższych wytrzymałości na ścislenie kompozytów cementowych lub znacznie polepszonych właściwości reologicznych.
- Popiół lotny kategorii S wykazuje wyższe wartości wskaźników aktywności K28 i K90 w stosunku do popiołu wyjściowego kategorii N, co wskazuje że jest dużo lepszym materiałem o właściwościach pucolanowych



**Instytut Ceramiki
i Materiałów
Budowlanych**

DZIĘKUJEMY ZA UWAGĘ

Mgr inż. Mikołaj Ostrowski*

Dr inż. Tomasz Baran*

Prof. dr hab. inż. Zbigniew Giergiczny**

*** Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych**

Oddział Szkła i Materiałów Budowlanych w Krakowie

**** Politechnika Śląska, Góraźdże Cement S.A.**