

## Właściwości szkła w krzemionkowych popiołach lotnych

### The properties of glass in siliceous fly ash

#### 1. Wstęp

Jak wiadomo, jakość popiołów lotnych zależy od rodzaju węgla oraz temperatury spalania i konstrukcji paleniska kotłowego (1-6). Na właściwości popiołów wpływa także uziarnienie, zmieniające się w zależności od sekcji elektrofiltru, w której popioły zostają wytrącone ze strugi gazów spalinowych (3, 4). Drobniejsze popioły – pochodzące z drugiej i trzeciej sekcji elektrofiltru – mają większą zawartość  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $SO_3$ , a szczególnie alkaliów, natomiast mniejszą  $SiO_2$ ,  $CaO$  i  $MgO$  (6, 7). W tych drobniejszych popiołach zaznacza się także wzrost zawartości szkła (1, 5). Właściwości pucolanowe popiołów zależą od zawartości szkła, ich składu chemicznego i uziarnienia (1, 7, 8). Szkło popiołowe złożone z cząstek mniejszych od  $75 \mu m$  wykazuje dobre właściwości pucolanowe (9).

Udział szkła w krzemionkowych popiołach lotnych waha się w granicach 30÷80%, a w niektórych przypadkach może wynosić nawet 90%, co jest związane z temperaturą spalania węgla oraz szybkością chłodzenia popiołu (1). Tlenkiem szkłotwórczym w popiołach jest  $SiO_2$  a pośrednim  $Al_2O_3$ . Więźbę przestrzenną szkła w popiołach tworzą tetraedry  $[SiO_4]^{4-}$  połączone ze sobą mostkami tlenowymi Si-O-Si. Inne tlenki, przede wszystkim litowce i berylowce, modyfikują właściwości szkła, powodując rozrywanie mostków tlenowych i neutralizując ładunki niewysyczone tlenu, na przykład Si-O-K. Im większa zawartość niemoistkowych atomów tlenu, tym wyższy stopień depolimeryzacji  $[SiO_4]^{4-}$  w szkłe (10). Właściwości amfoteryczne jonu glinu pozwalają mu odgrywać rolę szkłotwórczą, jeżeli występuje w koordynacji tetraedrycznej i jonu modyfikatora w koordynacji oktaedrycznej. O udziale jonów glinu w tych koordynacjach decyduje stosunek  $Al_2O_3 / (Na_2O + K_2O + 2CaO)$  zwany z angielskiego ASI (aluminium saturation index) (11).

Niniejsza praca przedstawia wyniki badań szkła w krzemionkowych popiołach lotnych. W badaniach wykorzystano dwie frakcje popiołu o uziarnieniu w zakresie  $0-16 \mu m$  i  $16-32 \mu m$ , pochodzące z różnych sekcji elektrofiltru.

#### 1. Introduction

It is known that the quality of fly ash depends of the kind of coal, the temperature of its combustion and the type of furnace (1-6). The grain size distribution influence also upon the properties of glass and this factor is changing according to electro-filter section in which the fly ash is precipitated (3-4). The finer ashes – precipitated in second and third section of electro-filter – has higher content of  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $SO_3$  and particularly of alkalis but lower of  $SiO_2$ ,  $CaO$  and  $MgO$  (6, 7). In this finer ashes the increase of glass content is also noted (1, 5). The content of glass, its chemical composition and fineness has the influence upon the pozzolanic properties of ashes (1, 7, 8). Glass of ash composed of particles smaller than  $75 \mu m$  has good pozzolanic properties (9).

The content of glass in siliceous fly ash changes in the range 30-80% and in some cases can even achieve 90% (1). It depends from the coal combustion temperature and from the rate of ash cooling (1). The glass forming oxide in ashes is  $SiO_2$  and mixed  $Al_2O_3$ . The glass network in ashes is composed from the tetrahedra of  $[SiO_4]^{4-}$  linked with each other with oxygen bridging Si-O-Si. Other oxides, chiefly beryllium, magnesium and alkaline-earth metals are modifying the glass properties, breaking the bridging oxygen and compensating the free charges of oxygen, for example Si-O-K. With the increasing of non-bridging oxygen atoms the depolymerization of  $[SiO_4]^{4-}$  in glass is rising (10). The amphoteric properties of aluminium ions gives them the possibility to play a role of glass - forming components if they have the tetrahedral coordination and modifying component in case of octahedral coordination. The share of aluminium ions in these coordination depends upon the aluminium saturation index (ASI), parameter defined as a ratio  $Al_2O_3 / (Na_2O + K_2O + 2CaO)$  (11).

In the paper the results of the study of the glass in siliceous fly ash is presented. In the study two fractions of ash were used, composed of the particles of size  $0-16 \mu m$  and  $16-32 \mu m$ , precipitated in different section electro-filter.

## 2. Właściwości fizykochemiczne popiołów lotnych

Badane krzemionkowe popioły lotne z węgla kamiennego pochodzą z dwóch sekcji elektrofiltru: pierwszej i trzeciej. Badania przeprowadzono na dwóch frakcjach ziarnowych tych popiołów: frakcji A o uziarnieniu 0÷16 µm i frakcji B o uziarnieniu 16÷32 µm. Frakcje ziarnowe popiołów z pierwszej sekcji elektrofiltru oznaczono jako P1A i P1B. Frakcje ziarnowe popiołów z trzeciej sekcji elektrofiltru oznaczono jako P3A i P3B. Skład chemiczny poszczególnych frakcji popiołu zestawiono w tabelicy 1. Wyniki analizy rentgenograficznej pokazano na rysunkach 1-4.

Ta sama frakcja popiołu, ale z trzeciej sekcji elektrofiltru, ma większą powierzchnię właściwą. Powierzchnia właściwa popiołu P3A jest o 32% większa niż popiołu P1A, co wynika z większego udziału frakcji ziarnowej mniejszej od 10 µm. Sumaryczna zawartość SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> w popiołach przekracza 70%. Ta sama frakcja popiołu, pochodząca z różnych sekcji elektrofiltru, wykazuje jednak zmienną zawartość alkaliów, przy porównywalnej ilości pozostałych składników głównych. W próbkach popiołu P1A i P3A różnica w zawartości alkaliów wynosi 30%, a w przypadku popiołów P1B i P3B – aż 41%.

Tablica 1 / Table 1

SKŁAD CHEMICZNY I POWIERZCHNIA WŁAŚCIWA CZTERECH FRAKCJI POPIOŁU LOTNEGO

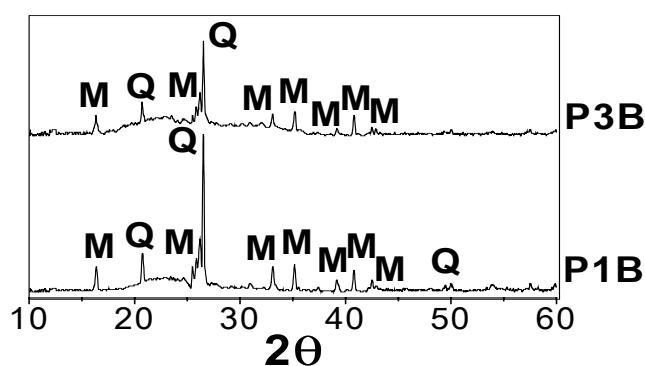
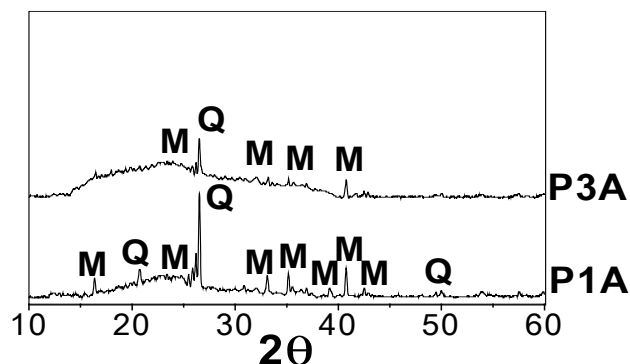
CHEMICAL COMPOSITION AND SPECIFIC SURFACE OF FOUR FRACTIONS OF FLY ASH

Składnik	P1A	P1B	P3A	P3B
Str. prażenia LOI	0,9	0,4	1,6	1,0
SiO <sub>2</sub>	51,6	53,8	48,8	51,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29,0	28,3	29,8	29,3
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,7	6,5	7,1	6,8
SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	87,3	88,6	85,7	87,3
CaO	4,2	4,5	3,7	3,9
MgO	2,1	2,5	1,8	2,1
Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	4,7	3,3	6,0	4,7
SO <sub>3</sub>	0,8	0,7	1,2	1,0
Pow. Blaine'a, m <sup>2</sup> /kg Blaine specific surface, m <sup>2</sup> /kg	570	270	750	360

W składzie fazowym popiołów, obok szkła, występują dwa składniki krystaliczne: kwarc β i mullit (rysunek 1). Ta sama frakcja popiołu z trzeciej sekcji elektrofiltru, daje mniejszą intensywność pików dyfrakcyjnych kwarcu (rysunek 2), co wskazuje na jego mniejszą zawartość. W przypadku próbek popiołu P1A i P3A różnica intensywności refleksu kwarcu, określona jako pole powierzchni pod pikiem, wynosi 11%. Ze wzrostem udziału grubszej frakcji ziarnowej w popiele wzrasta intensywność pików kwarcu. W próbkach popiołów P1B i P3B różnica intensywności linii kwarcu wynosi 17%. Wzrost

## 2. Physical-chemical properties of fly ashes

The examined siliceous fly ashes from the hard coal were precipitated in two sections of electro-filter; the first and the third. The study covered two fractions of these ashes: fraction A composed of particles in the range 0-16 µm and fraction B with particles 16-32 µm. The fractions from the first section of electrostatic precipitator were designed P1A and P1B and the fractions from the third section were designed P3A and P3B. The chemical composition of all examined fractions is depicted in Table 1. The results of X-ray analysis are presented on the Figures 1-4.

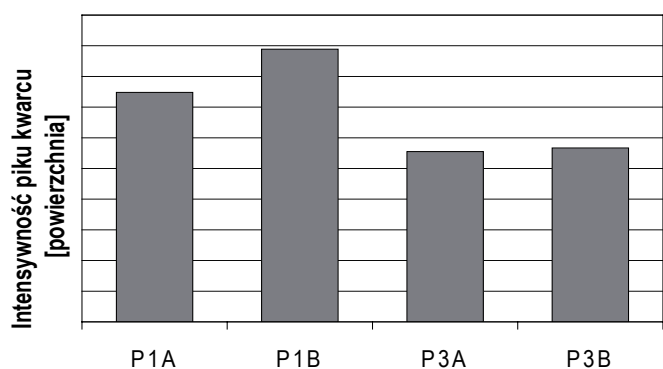


Rys. 1. Dyfraktogramy rentgenowskie różnych frakcji popiołu lotnego: Q – kwarc β, M – mullit

Fig. 1. X-ray diffraction patterns of different fly ash fractions: Q – quartz β, M - mullite

The same fraction of ash, but from the third section of electrostatic precipitator has high specific surface. The specific surface of the ash sample P3A is 32% higher than of sample P1A, which results from higher content of the grain size fraction lower than 10 µm. The total content of SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in the ashes is greater than 70%. The same ash fraction, but precipitated in different electro-filter section shows, however, changeable content of alkalis and comparable quantity of remaining main components. In the ash samples P1A and P3B the difference in alkalis content is 30% and in the case of samples P1B and P3B as high as 41%.

In the phase composition of ashes, apart of glass, two crystalline components are present: quartz β and mullite (Fig. 1). The same ash fraction from the third section of electrostatic precipitator gives

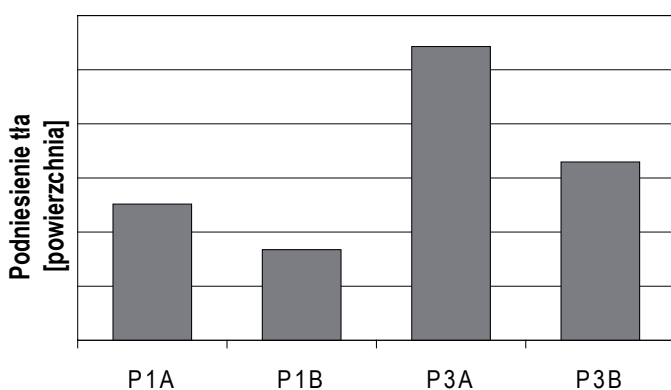


Rys. 2. Intensywność pików kwarcu na dyfraktogramach rentgenowskich różnych frakcji popiołu lotnego

Fig. 2. Intensity of quartz peak on X-ray diffraction patterns of different fly ash fractions

rozmycia pików kwarcu wskazuje na mniejszą wielkość kryształitów w próbkach popiołów P3A i P3B (rysunek 3).

Analiza rentgenograficzna pokazuje ponadto, że równocześnie ze spadkiem intensywności refleksu kwarcu zmienia się wielkość podniesienia tła dla kąta  $2\theta$  w zakresie  $18\div 28^\circ$  (rysunek 4). Zwiększenie podniesienia tła na dyfraktogramie próbki popiołu P3A, mierzone jako jego powierzchnia, jest największy, a różnica w stosunku do popiołu P1A jest ponad dwukrotna. Wskazuje to na największy udział szkła w próbce popiołu P3A.



Rys. 4. Podniesienie tła (jego powierzchnia) dla kąta  $2\theta$  w zakresie  $18\div 28^\circ$  na dyfraktogramach rentgenowskich różnych frakcji popiołu lotnego

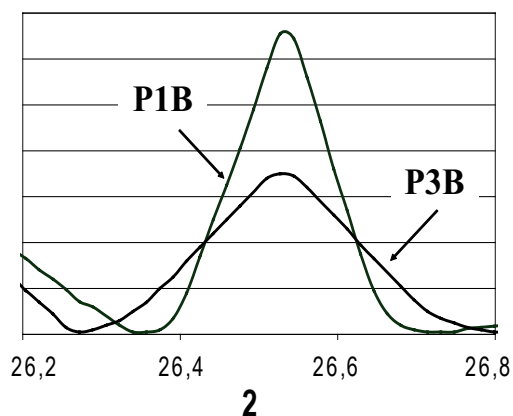
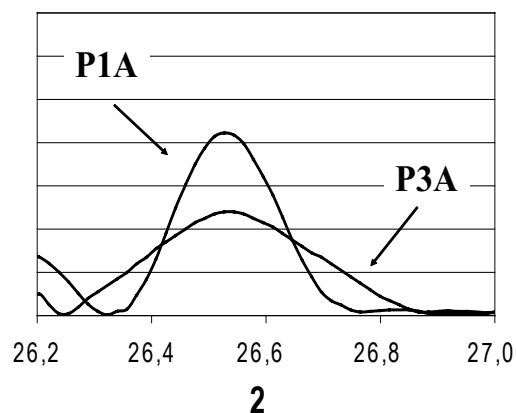
Fig. 4. Broad diffraction effect area in the range of  $2\theta$   $18\div 28^\circ$  on X-ray diffraction patterns of different fly ash fractions

### 3. Więzba przestrzenna szkła w popiołach lotnych

Do badań szkła występującego w różnych próbkach popiołu zastosowano metodę spektroskopii w podczerwieni (IR) i metodę magnetycznego rezonansu jądrowego (MAS-NMR).

Na widmach IR wszystkich próbek popiołu pojawiają się te same grupy pasm absorpcyjnych (rysunek 5). W porównaniu z widmem IR szkła krzemionkowego widoczne są zmiany położenia pasm wywołane obecnością jonów glinu w szkłe. Główne pasmo, po-

niższej linii dyfrakcyjnej kwarcu na X-ray pattern (Fig. 2) which confirms its lower content. In the case of the ash samples P1A and P3A the difference in the intensity of quartz line is 11%. With the increase of coarse grain fraction in ash the intensity of quartz peak is also higher. In the samples P1B and P3B the difference of quartz peak area is 17% higher. The increase of line broadening on X-ray pattern of quartz means the decrease of its crystals size in the ash sample (Fig. 3).



Rys. 3. Piki kwarcu na dyfraktogramach rentgenowskich różnych frakcji popiołu lotnego

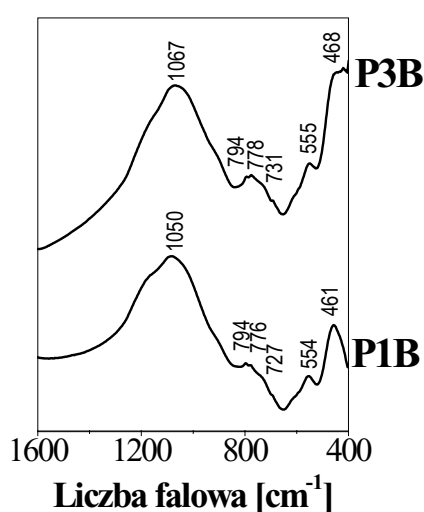
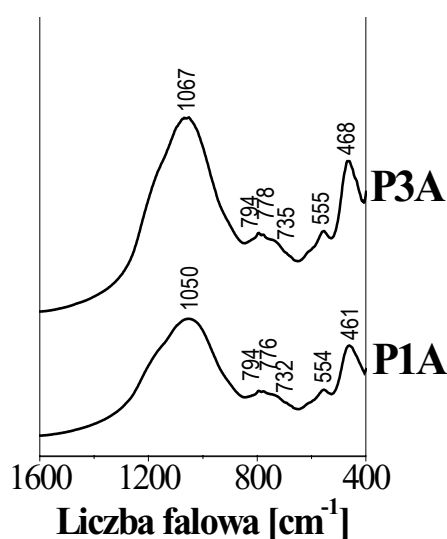
Fig. 3. Quartz peak on X-ray diffraction patterns of different fly ash fractions

X-ray analysis shows additionally, that simultaneously with decrease of quartz peak intensity the broad diffraction effect for  $2\theta$  angle in the range  $18\div 28^\circ$  is increasing (Fig. 4). The increase of broad diffraction effect area is the highest for ash sample P3A and its area is twofold greater than in the case of sample P1A. It means the highest glass content in the sample P3A.

### 3. Network in the siliceous fly ashes glass

For studies of glass from different fly ash samples the infrared spectroscopy (IR) and nuclear magnetic resonance (MAS NMR) were applied.

On the IR spectra of all ash samples the same group of absorption bands are appearing (Fig. 5). In comparison with IR of siliceous glass the change of bands location caused by the presence of



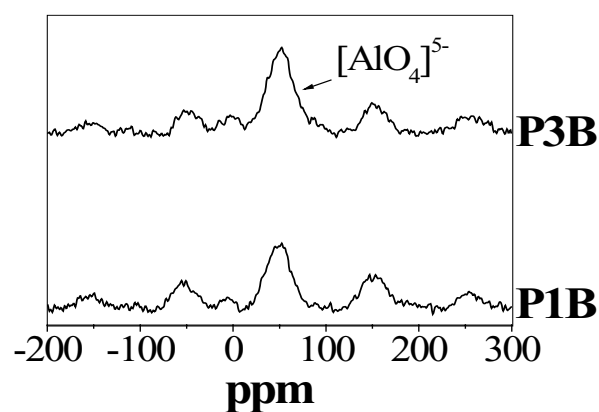
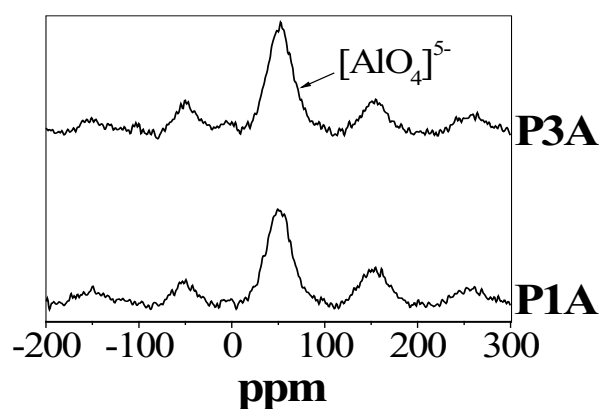
Rys. 5. Widma IR różnych frakcji popiołu lotnego  
Fig. 5. IR spectra of different fly ash fractions

łożone w rejonie 1050÷1070  $\text{cm}^{-1}$ , związane jest z asymetrycznymi drganiami rozciągającymi wiązania mostkowego Si-O-Si, łączącego dwa sąsiednie tetraedry  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  w szkłe. Pasma to położone jest w zakresie niższych liczb falowych w stosunku do szkła krzemionkowego. Wskazuje to na dalsze zaawansowanie procesu polimeryzacji tetraedrów krzemotlenowych oraz na obecność wiązań Si-O-Al w szkłe popiołowym. Największe zmiany na widmach występują jednak w rejonie 650÷800  $\text{cm}^{-1}$ . Dublet pasm w zakresie 780÷800  $\text{cm}^{-1}$  świadczy o obecności kwarcu  $\beta$  w próbkach popiołów. Dublet ten związany jest z symetrycznym drganiami rozciągającymi mostka Si-O-Si. Natomiast maksimum położone przy około 730  $\text{cm}^{-1}$  pochodzi od drgań mostka Si-O-Al. Pasma położone przy około 555  $\text{cm}^{-1}$  związane jest z istniejącymi w więźbie pierścieniami tetraedrów krzem- i glinotlenowych. Pasma zlokalizowane przy około 465  $\text{cm}^{-1}$  pochodzi od drgań zginających mostka Si-O-Si.

Na widmach  $^{27}\text{Al}$  MAS-NMR wszystkich próbek popiołu widoczne jest jedno główne pasmo przy około 60 ppm (rysunek 6).

aluminium ions is to be noted. The main band located in the region 1050 – 1070  $\text{cm}^{-1}$  is linked with asymmetrical stretching vibrations of bridging bond of Si-O-Si, linking two adjacent tetrahedra  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  in glass. This band is located at lower waves number in comparison to siliceous glass. It confirms the further polymerization of silicate tetrahedra and of the presence of bonds Si-O-Al in fly ash glass. However, the highest changes in the spectra are at 650-800  $\text{cm}^{-1}$ . The doublet of bands in the range 780-800  $\text{cm}^{-1}$  confirms the presence of quartz  $\beta$  in the ash samples. This doublet is caused by symmetrical stretching vibrations of bridging bond Si-O-Si. However, the maximum located at 730  $\text{cm}^{-1}$  is linked with the bridging bond Si-O-Al. The band located at 555  $\text{cm}^{-1}$  is linked with the existing rings of silica - aluminium tetrahedra in the network. The band located at 465  $\text{cm}^{-1}$  is caused by bending vibrations of the bridge Si-O-Si.

In the spectra  $^{27}\text{Al}$  MAS-NMR of all ash samples one main band at about 60 ppm is present (Fig. 6.). This band is linked with the aluminium ions in tetrahedral coordination which play a role of glass forming ions. It is seen, that in the same ash fraction precipitated in the third section of electro-filter the content of  $[\text{AlO}_4]^{5-}$  tetrahedra replacing  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  tetrahedra is increasing. The highest intensity of the band at about 60 ppm, i.e. the highest content of tetrahedra  $[\text{AlO}_4]^{5-}$ , is appearing in the ash sample P3A. However, the lowest share of tetrahedra  $[\text{AlO}_4]^{5-}$  has the ash sample P1B.



Rys. 6. Widma  $^{27}\text{Al}$  MAS-NMR różnych frakcji popiołu lotnego  
Fig. 6.  $^{27}\text{Al}$  MAS-NMR spectra of different fly ash fractions

Pasma to związane jest z obecnością jonów glinu w koordynacji tetraedrycznej, pełniących w szkle funkcję jonów szklotwórczych. Widać, że w tej samej frakcji popiołu, wytrąconej w trzeciej sekcji elektrofiltru, wzrasta udział tetraedrów  $[AlO_4]^{5-}$ , podstawiających tetraedry  $[SiO_4]^{4-}$ . Największa intensywność pasma przy około 60 ppm, a tym samym największy udział tetraedrów  $[AlO_4]^{5-}$ , występuje w próbce popiołu P3A. Natomiast najmniejszą ilość tetraedrów  $[AlO_4]^{5-}$  wykazuje próbka popiołu P1B.

Wzrost udziału tetraedrów  $[AlO_4]^{5-}$  w więźbie przestrzennej szkła zmniejsza stopień polimeryzacji anionów  $[SiO_4]^{4-}$  w szkle, na co wskazuje analiza widma  $^{29}Si$  MAS-NMR (rysunek 7). Na wszystkich widmach  $^{29}Si$  pojawia się pasmo o dużej intensywności w zakresie od -108 do -103 ppm. Pasma to świadczy o obecności elementów więźby trójwymiarowej w szkle (struktura typu  $Q^4$ ) jak również tetraedrów mostkowych we wstędze krzemotlenowej (struktura typu  $Q^3$ ). Łatwo zauważyć, że dla tej samej frakcji popiołu, ale wytrąconej w trzeciej sekcji elektrofiltru, pasmo to przesuwają się w stronę wyższych wartości ppm, co dowodzi powstawania więźby łańcuchowej, z bardzo niewielką pozostałością przestrzennej więźby krzemotlenowej. Jest to z pewnością efektem występowania jonów modyfikatorów w szkle, a głównie potasu i sodu. W przypadku próbki popiołu P3A, główne pasmo położone jest przy -103,6 ppm, co oznacza, że w więźbie tego szkła najmniejszy jest udział tetraedrów, w których wszystkie atomy tlenu byłyby mostkowymi. Zatem frakcja popiołu P3A wykazuje największy stopień depolimeryzacji anionów  $[SiO_4]^{4-}$  w szkle. W próbce popiołu P1B, główne pasmo położone jest przy -107,7 ppm, co wskazuje na większy stopień polimeryzacji anionów  $[SiO_4]^{4-}$  w szkle w tym popiele.

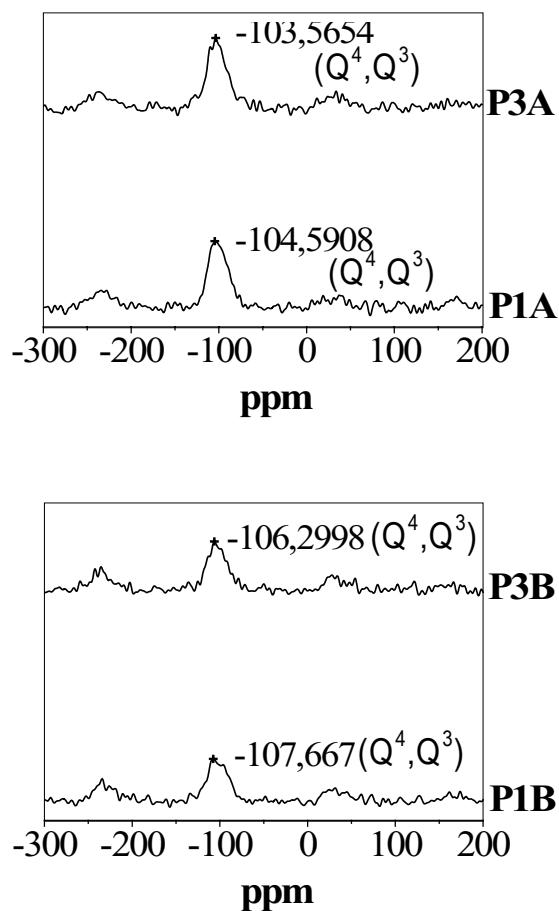
#### 4. Właściwości pucolanowe popiołów lotnych

Przeprowadzone badania właściwości pucolanowych poszczególnych frakcji popiołu zgodnie z normą ASTM C 379-65, wykazały że zawartość aktywnych składników ( $SiO_{2akt}$ ,  $Al_2O_{3akt}$ ) w tej samej frakcji popiołu zmienia się w zależności od tego, w której sekcji elektrofiltru uległy one wytrąceniu (tablica 2). Aktywność pucolanowa próbki popiołu P3A jest ponad 40% większa niż w przypadku próbki popiołu P1A. Ze wzrostem udziału grubszej frakcji ziarnowej maleje aktywność pucolanowa popiołu. Różnica zawartości aktywnych składników w próbkach popiołu P1B i P3B wynosi 45%. Mała aktywność pucolanowa popiołu P1B powoduje, że będzie on odgrywał głównie rolę mikrowypełniacza w zaczynie cementowym. To zróżnicowanie aktywności pucolanowej tej samej frakcji popiołu, lecz wytrąconej w innej sekcji elektrofiltru, jest wynikiem różnej zawartości szkła oraz innych jego właściwości.

#### 5. Wnioski

Z przeprowadzonych badań można wyciągnąć następujące wnioski:

1. W szkle występującym w popiołach lotnych są dwa typy wiązań mostkowych: Si-O-Si i Si-O-Al.



Rys. 7. Widma  $^{29}Si$  MAS-NMR różnych frakcji popiołu lotnego  
Fig. 7.  $^{29}Si$  MAS-NMR spectra of different fly ash fractions

The increase of tetrahedra  $[AlO_4]^{5-}$  content in the network of glass causes the increase of depolymerization degree of anions  $[SiO_4]^{4-}$  in glass which is confirmed by the analysis of  $^{29}Si$  MAS-NMR spectrum (Fig. 7.). In all  $^{29}Si$  spectra the high intensity band in the region -108 to -103 ppm is occurring. It testifies the presence of the elements of three dimensional network in glass (the type of  $Q^4$  structure) and also of bridging tetrahedra in the silicate ribbon (the type of  $Q^3$  structure). It is easy to observe, that for the same ash grain fraction, but from the third section of electrostatic precipitator, this band is shifted to the higher value of ppm which confirms the formation of ribbon network, with the small content of remaining silicate three-dimensional network. It is the effect of the presence

Tablica 2 / Table 2

AKTYWNOŚĆ PUCOLANOWA RÓŻNYCH FRAKCJI POPIOŁU LOTNEGO  
OZNACZONA ZGODNIE Z ASTM C379-65

THE POZZOLANIC ACTIVITY OF DIFFERENT FLY ASH FRACTIONS  
ACCORDING TO ASTM C 379-65

Parametr	P1A	P1B	P3A	P3B
$SiO_{2active}$	13,1	5,7	18,9	8,3
$Al_2O_{3active}$	9,5	4,2	13,6	6,1
$SiO_{2active} + Al_2O_{3active}$	22,6	9,9	32,5	14,4



2. Szkło w popiele wytrąconym w trzeciej sekcji elektrofiltru wykazuje większą zawartość tetraedrów  $[AlO_4]^{5-}$  w stosunku do szkła w próbkach popiołu z pierwszej sekcji elektrofiltru.
3. Szkło w popiele z trzeciej sekcji elektrofiltru wykazuje większy stopień depolimeryzacji anionów  $[SiO_4]^{4-}$ , co jest spowodowane większą zawartością jonów modyfikatorów w tym szkłe.

*Temat zrealizowano w ramach działalności statutowej Nr 11.11.160.451.*

## Podziękowanie

Autorzy dziękują Panu dr hab. inż. W. Mozgawie za pomoc przy interpretacji wyników badań IR

## Literatura / References

1. F. Massazza, w *Lea's Chemistry of Cement and Concrete*, Arnold, London, 1998, s. 471.
2. S. H. Lee, E. Sakai, M. Diamon, W. K. Bang, *Cem. Concr. Res.*, vol. 29, p.1791 (1999).
3. J. Małolepszy, E. Tkaczewska, V Konf. PTCer., *Ceramika*, vol. 91, s. 1143, Zakopane, 2005.
4. J. Małolepszy, E. Tkaczewska, 53 Konf. Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB, t. 3, s. 119, Krynica, 2007.
5. J. D. Watt, D. J. Thorne, *J. Applied Chem.*, vol. 15, p. 585 (1965).
6. R. Dron, L'activit pouzzolannique, *Bull. Liaison Lab. Ponts Chauss.*, vol. 99, p. 66 (1978).
7. F. H. Hubbard, R. K. Dhir, M. S. Ellis, *Cem. Conr. Res.*, vol. 15, p. 185 (1985).
8. R. C. Sharma, N. K. Jain, S. N. Ghosh, *Cem. Concr. Res.*, vol. 23, p. 41(1993).
9. N. Schwarz, N. Neithalath, *Cem. Concr. Res.*, vol. 38, p. 429 (2008).
10. M. C. Mills, *ISIJ International*, vol. 33, p. 148 (1993).
11. W. Bumrongjaroen, S. Swatekititham, R. A. Livingston, J. Schweitzer, *Inter. Conf. on Fly Ash, Silica Fume, Slag, and Natural Pozzolans in Concrete*, SP-242, p. 227, Warszawa, 2007.

of modifying ions in glass, chiefly of potassium and sodium. In the case of ash sample P3A the main band is located at -103,6 ppm which means that in this glass network the lowest is the share of fully linked tetrahedra. Thus the ash fraction P3A shows the highest degree of depolymerization of silicate anions in glass. In the sample of ash P1B the main band is located at -107,7 ppm, which testifies that the degree of anions  $[SiO_4]$  polymerization is higher in this ash.

## 4. Pozzolanic properties of fly ash

The examination of pozzolanic properties of different fly ash fractions, according to ASTM C379-65 has shown that the content of active components ( $SiO_{2ac}$   $Al_2O_{3ac}$ ) in the same ash fraction is changing depending from which section of electro-filter it was precipitated (Table 2). The pozzolanic reactivity of ash sample P3A is above 40% higher than of the sample P1A. With the increase of coarse grain fraction the pozzolanic reactivity of ash drops down. The difference in the content of active components in fly ash samples P1B and P3B is 45%. The low pozzolanic reactivity of the fly ash P1B means that this ash will be chiefly the microfiller in cement paste. This differentiation of pozzolanic reactivity of the same ash fraction, but precipitated in other electro-filter section is the result of different glass content of modified properties.

## 5. Conclusions

From the experimental results the following conclusions can be drawn:

- a) In the fly ash glass two kinds of bonds can be found: Si-O-Si and Si-O-Al.
- b) Glass in fly ash precipitated in the third section of electro-filter has higher content of  $[AlO_4]^{5-}$  tetrahedra in comparison with the fly ash samples from first section.
- c) The ash glass from the third section of electrostatic precipitator shows higher  $[SiO_4]^{4-}$  anions depolymerization degree which is caused by higher content of modifiers in this glass.

*The study was carried out within the statue theme no. 11.11.160.451.*

## Acknowledgements

The authors present their thanks to dr Mozgawa for this fruitful discussions of IR results.