

WPŁYW DODATKU POPIOŁU LOTNEGO NA WŁAŚCIWOŚCI KOMPOZYTU GLINOWO-POPIOŁOWEGO

Krzysztof Wiśniewski, Małgorzata Ziółkowska
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Streszczenie. W pracy omówiono wyniki badań dodatku popiołu lotnego do gliny i jego wpływ na wybrane właściwości fizyczne i mechaniczne uzyskanego kompozytu. Badania przeprowadzono na próbkach, gdzie zawartość popiołu lotnego w stosunku do gliny wahała się od 10 do 30%. Próbki poddano badaniom skurczu suszenia, gęstości i masy, wytrzymałości na ściskanie i ścinanie. Uzyskane wyniki badań wskazują, że wzrost zawartości popiołu lotnego pozytywnie wpływa na właściwości fizyczne, natomiast negatywnie na właściwości mechaniczne. Zbadane cechy fizyczne i mechaniczne należy uwzględnić w pracach projektowych i konstrukcyjnych związanych ze wznoszeniem budynków z gliny.

Słowa kluczowe: glina, popiół lotny, wytrzymałość, suszenie, skurcz

WSTĘP

Glina jest podstawowym składnikiem wypalanych ceramicznych materiałów budowlanych, ale jest również wykorzystywana w budownictwie w formie niewypalonej do wykonywania ścian budynków, tynków. Wykorzystywanie surowej, niewypalonej gliny wiąże się ze znacznie niższą energochłonnością skumulowaną w porównaniu z gliną wypalaną, co wiąże się ze znacznie niższymi kosztami wznoszenia budynków.

Ponadto o zastosowaniu surowej gliny do celów budowlanych decydują jej właściwości: mrozoodporność (w stanie suchym), właściwości konserwujące, nasiąkliwość (możliwość stosowania wyłącznie do budowy części nadziemnych budynku), zdolność oddawania i przyswajania wilgoci (dostosowuje się do wilgotności otoczenia), akumulacja ciepła, izolacyjność akustyczna.

Istotnym utrudnieniem przy wykorzystaniu gliny do celów budowlanych jest fakt, że jest to materiał nienormowany. Natomiast wytyczne wznoszenia budynków oparte są na normach sprzed kilku dziesięcioleci [PN-62-6738-01, BN-62/6738-02, BN-62/8841-04].

Adres do korespondencji – Corresponding author: Krzysztof Wiśniewski Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Katedra Inżynierii Budowlanej, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa; e-mail krzysztof_wisniewski@sggw.pl

Wadą gliny bez dodatków jest także dużo większy skurcz podczas wysychania niż na przykład betonu, dlatego należy wcześniej przeprowadzić badania związane z tą cechą w celu wyeliminowania tego niepożądanego zjawiska.

Celem badań było wykazanie wpływu dodatku popiołu lotnego do gliny na jej właściwości mechaniczne oraz wybrane cechy fizyczne, określające przydatność tego materiału do celów budowlanych. Wybrany dodatek od dawna jest składnikiem mas ceramicznych stosowanych do wytwarzania ceramicznych wypalanych materiałów budowlanych, w których w zależności od składu poprawia właściwości mechaniczne i fizyczne produktów w trakcie suszenia i wypalania.

Zakres prac dotyczył wykonania badań próbek mas z gliny o różnej zawartości popiołu lotnego oraz dla próbek kontrolnych o zerowej zawartości popiołu lotnego.

METODYKA BADAŃ

Do badań użyto glinę średnio tłustą o gęstości objętościowej z przedziału od 1600 do 2000 kg·m⁻³, z terenów Szkucina w województwie świętokrzyskim. Wykonano próbki gliny z masy o zerowej zawartości popiołu lotnego oraz z dodatkiem odpowiednio 10, 20 oraz 30% zawartości wagowej popiołu lotnego. Użyty do badań popiół lotny krzemionkowy pochodził z elektrociepłowni „Siekierki”. Jest to popiół powstały w procesie spalania węgla kamiennego. Popiół krzemionkowy jest najczęściej stosowanym typem popiołu lotnego wykorzystywanego w produkcji betonu. Z badań przedstawionych w literaturze Giergicznego [Giergiczny 2005, 2009] wynika, że popiół lotny o średnicy ziaren mniejszych niż 45 μm decyduje o wytrzymałości, ścieralności oraz mrozoodporności betonu popiołowego, natomiast miąższość popiołu wpływa na trwałość betonu – im więcej drobnych ziaren w popiele, tym wzrasta trwałość betonu. Natomiast brak jest odpowiednich badań, które określałyby wpływ popiołu lotnego na podobne cechy kompozytu glinowo-popiołowego. Jednocześnie wybrany do badań popiół spełnia wymagania normowe [PN-EN 450-1:2009, PN-EN 450-2:2009], jest powszechnie dostępny, jak również cechuje go dobra jakość.

Gęstość próbek obliczono według wzoru:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

gdzie: ρ – gęstość objętościowa [kg·m⁻³],

m – masa badanej próbki [kg],

V – objętość próbki [m³].

Badanie skurczu przeprowadzono na belkach o wymiarach 160 × 40 × 40 mm. Na każdej belce, bezpośrednio po uformowaniu, wykonano nacięcia o głębokości 3 mm, oddalone od siebie o 140 mm. Metoda pomiaru skurczu polegała na określeniu zmiany odległości zaznaczonych na belce nacięć w stosunku do początkowej odległości równej 140 mm. Pomiar odległości między nacięciami badano za pomocą suwmiarki elektronicznej z dokładnością 1 mm. Procentowy skurcz próbek obliczono zgodnie ze wzorem:

$$S = \frac{l - l_1}{l} \times 100\% \quad (2)$$

gdzie: S – skurcz gliny [%],

l – odległość między poprzecznymi nacięciami po uformowaniu próbki [mm],

l_1 – odległość między poprzecznymi nacięciami po wyschnięciu próbki [mm].

Do tego badania wykorzystano sześciennie próbki gliny o wymiarach $40 \times 40 \times 40$ mm. Próbki zostały przygotowane zgodnie z normą plastyczności. Przed badaniem próbki zostały osuszone do stałej wilgotności: przez 3 dni w temperaturze pokojowej oraz przez 2 dni w suszarce o temperaturze 105°C .

Wytrzymałość na ściskanie gliny obliczono, jak dla betonu, na podstawie wzoru [PN-EN 12390-3:2001]:

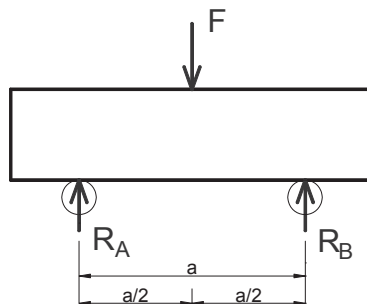
$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (3)$$

gdzie: f_c – wytrzymałość na ściskanie [MPa],

F – maksymalne obciążenie przy zniszczeniu [N],

A_c – pole przekroju poprzecznego próbki, na które działa siła ściskająca [mm^2].

Badanie wytrzymałości na zginanie przeprowadzono na próbkach gliny w kształcie belki o wymiarach $40 \times 40 \times 160$ mm (te same, które użyto do pomiaru skurczu) i według schematu przedstawionego na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat sił działających na próbkę podczas badania na zginanie

Fig. 1. Scheme of powers working on the sample while examining for bending

Wytrzymałość na ściskanie gliny obliczono zgodnie ze wzorem:

$$f_{cf} = \frac{3 \cdot F \cdot l}{2 \cdot d_1 \cdot d_2^2} \quad (4)$$

gdzie: f_{cf} – wytrzymałość na zginanie [$\text{MPa} = \text{N} \times \text{mm}^{-2}$],

F – maksymalne obciążenie przy zniszczeniu [N],

l – rozstaw wałków podpierających [mm],

d_1, d_2 – wymiary poprzeczne próbki [mm].

WYNIKI BADAŃ

Badania kompozytu glinowo-popiołowego obejmowały pomiar gęstości objętościowej, pomiar skurczu, wytrzymałości na ściskanie oraz wytrzymałości na zginanie.

Po wstępnej obróbce cieplnej (suszenie) gliny, a następnie rozdrobnieniu i przesianiu odmierzone cztery równe porcje gliny, a następnie do trzech części dodano odpowiednio 10, 20 oraz 30% popiołu lotnego wagowo w stosunku do masy gliny oraz odpowiednią ilość wody tak, aby glina była dobrze urabialna oraz żeby posiadała stałą normę plastyczności.

Sprawdzenie stałej normy plastyczności polegało na uformowaniu 200-gramowej kulki gliny, a następnie upuszczeniu jej z wysokości 2 m na płaską, niechropowatą powierzchnię [BN-62/6738-01]. Średnica kulki, po upadku, we wszystkich częściach gliny o różnym stosunku popiołu lotnego wynosiła 80 ± 2 mm. Zachowanie stałej normy plastyczności wykonanych próbek było konieczne do ujednoczenia wyników pomiarów.

Przed przystąpieniem do suszenia każda próbka została ponumerowana oraz zaznaczono na niej punkty do pomiaru skurczu.

Z każdej wyżej opisanych mas plastycznej gliny, o różnej zawartości popiołu lotnego, uformowano próbki o kształcie kostek sześciennych o wymiarach $40 \times 40 \times 40$ mm oraz belki o wymiarach $40 \times 40 \times 160$ mm. Łącznie uformowano 52 próbki.

Próbki zostały poddane ważeniu: przed suszeniem – po upływie 3 dni na wolnym powietrzu, oraz po całkowitym osuszeniu próbki w suszarce. Wyniki pomiaru mas badanych próbek przedstawiono w tabeli 1. Suszenie próbek kompozytu gliny odbywało się przez 3 dni na wolnym powietrzu, a następnie przez 2 dni w suszarce w temperaturze 105°C do uzyskania stałej masy. Powolne suszenie próbki było konieczne, by uniknąć gwałtownego skurczu, mogącego spowodować drobne pęknięcia. Wyniki badania gęstości objętościowej próbek kompozytu glinowego przedstawiono w tabeli 2, natomiast wpływ zawartości popiołu lotnego na gęstość objętościową kompozytu z gliny na rysunku 2.

Tabela 1. Zestawienie średnich mas próbek w zależności od zawartości popiołu lotnego
Table 1. Summary of the average masses of samples in depending on the content of the fly ash

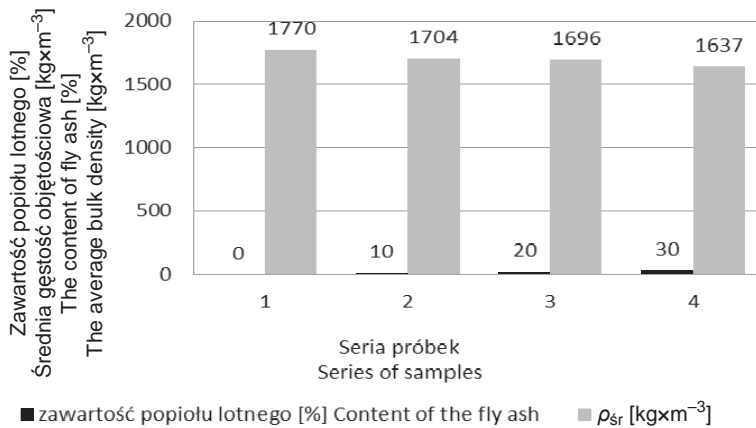
Lp. No	Zawartość popiołu lotnego Content of the fly ash [%]	Masa Mass <i>m</i> „0” [kg]	Masa Mass <i>m</i> „1” [kg]	Masa Mass <i>m</i> „2” [kg]
1	0	0,125	0,112	0,098
2	10	0,122	0,106	0,098
3	20	0,121	0,115	0,098
4	30	0,119	0,102	0,095

Pomiar masy został wykonany za pomocą elektronicznej wagi w trzech etapach: *m* „0” – przed suszeniem, *m* „1” – po upływie 3 dni na wolnym powietrzu, *m* „2” – po całkowitym osuszeniu próbki w suszarce.

Miarodajny stopień skurczu został określony na podstawie średniej arytmetycznej pomiarów z minimum trzech próbek. W tabeli 3 przedstawiono wyniki pomiaru skurczu suszenia.

Tabela 2. Zestawienie gęstości objętościowej próbek w zależności od zawartości popiołu lotnego
Table 2. Juxtaposition of the volume density of samples in depending on the content of the fly ash

Lp. No	Zawartość popiołu lotnego Content of the fly ash [%]	ρ_{sr} [kg×m ⁻³]
1	0	1770
2	10	1704
3	20	1696
4	30	1637

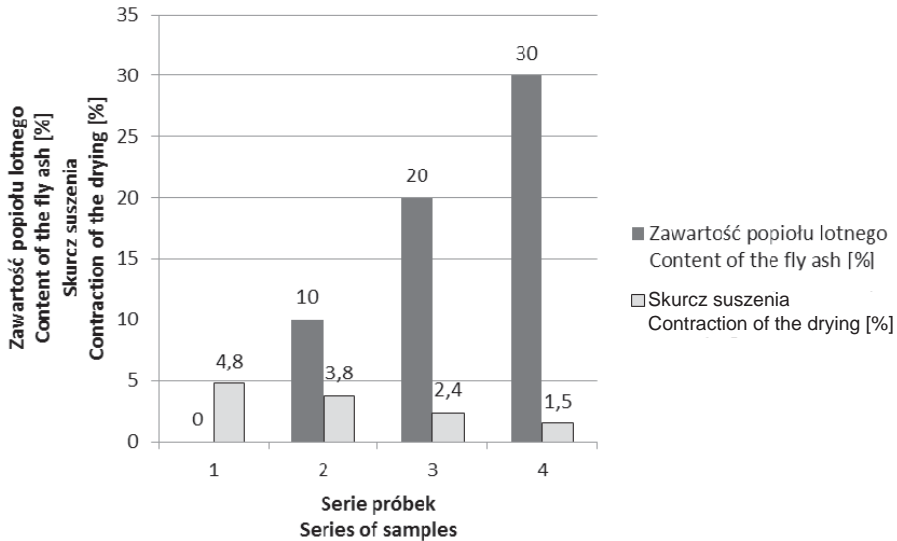


Rys. 2. Wpływ zawartości popiołu lotnego na gęstość objętościową kompozytu z gliny
Fig. 2. Influence of the content of the fly ash on the volume density of composite of clay

Tabela 3. Zestawienie wielkości skurczu suszenia próbek w zależności od zawartości popiołu lotnego
Table 3. Juxtaposition of the size of the contraction of the drying samples in depending on the content of the fly ash

Lp. No	Zawartość popiołu lotnego Content of the fly ash [%]	Skurcz suszenia Contraction of the drying [%]
1	0	4,8
2	10	3,8
3	20	2,4
4	30	1,5

Skurcz gliny ma bardzo istotne znaczenie w budownictwie. Zbyt duży skurcz materiału może prowadzić do powstawania rys, pęknięć ścian, a nawet do zniszczenia budynku. Na podstawie wyników badania skurczu wynika, że dodatek popiołu może znacznie (ponad trzykrotnie) zmniejszyć skurcz gliny. Na wykresie (rys. 3) wyraźnie widoczna jest linia trendu, która potwierdza, że im większy jest dodatek popiołu do gliny, tym bardziej zmniejszeniu ulega skurcz suszenia. Jest to bardzo korzystne zjawisko, gdyż zmniejsza



Rys. 3. Wpływ dodatku popiołu do gliny na skurcz suszenia

Fig. 3. Influence of the addition of ash to clay on the contraction of the drying

ryzyko powstania pęknięć i rys skurczowych podczas wysychania mieszanki gliny z popiołem, co jest szczególnie ważne w przypadku tzw. glin wrażliwych lub tłustych.

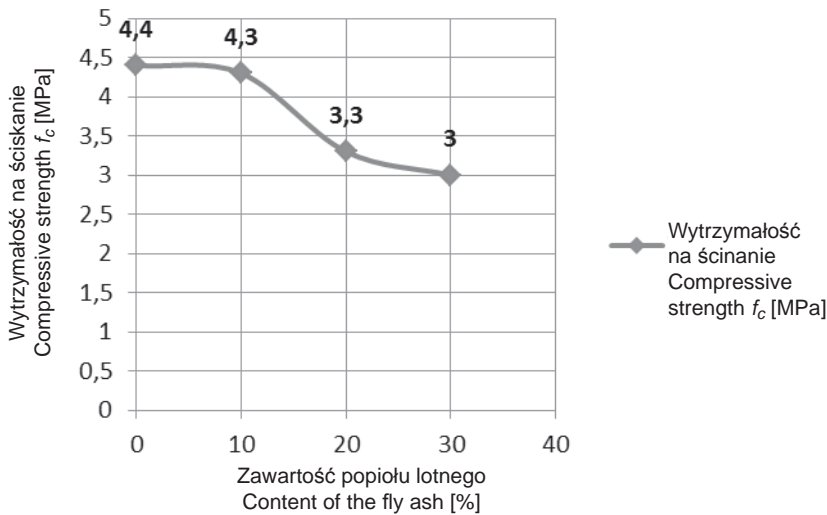
Badanie wytrzymałości na ściskanie zostało przeprowadzone w maszynie wytrzymałościowej w Laboratorium Katedry Inżynierii Budowlanej SGGW w Warszawie, a wyniki przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Zestawienie wytrzymałości próbek na ściskanie w zależności od zawartości popiołu lotnego

Table 4. Summary of the resistance of samples to pressing in depending on the content fly ash

Lp. No	Zawartość popiołu lotnego Content of the fly ash [%]	Wytrzymałość na ściskanie Compressive strength f_c [MPa]
1	0	4,4
2	10	4,3
3	20	3,3
4	30	3

Pod wpływem dodatku popiołu wytrzymałość gliny na ściskanie znacznie maleje (tab. 4, rys. 4). Surowa glina osiąga średnią wytrzymałość na ściskanie 4,4 MPa, wraz ze wzrostem dodatku popiołu lotnego średnia wytrzymałość na ściskanie znacznie się zmniejsza. W przypadku gliny z 30-procentową zawartością popiołu lotnego wytrzymałość na ściskanie osiąga 3,0 MPa. Największy skok zmniejszenia wytrzymałości na ściskanie występuje między 10- a 20-procentową zawartością popiołu, gdzie wytrzymałość na ściskanie zmniejsza się o 1 MPa.



Rys. 4. Wpływ zależności dodatku popiołu do gliny na jej wytrzymałość na ściskanie
 Fig. 4. Influence in dependence of the addition of ash to clay on her compressive strength

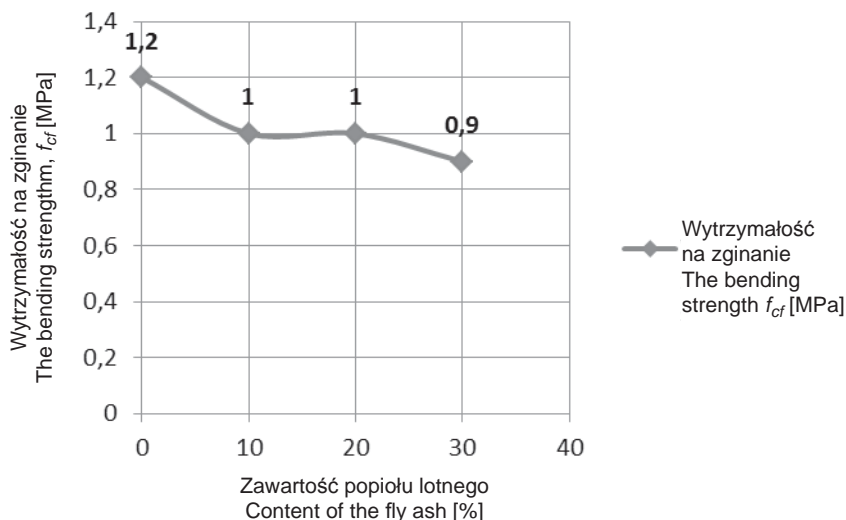
W tabeli 5 zestawiono wyniki badań wytrzymałości na zginanie próbek kompozytu glinowo-popiołowego.

Tabela 5. Zestawienie wytrzymałości próbek na zginanie w zależności od zawartości popiołu lotnego w glinie

Table 5. Summary of the bending strength of the samples according to the content of fly ash in clay

Lp. No	Zawartość popiołu lotnego [Content of the fly ash [%]]	Wytrzymałość na zginanie [The bending strength f_{cf} [MPa]]
1	0	1,2
2	10	1,0
3	20	1,0
4	30	0,9

Na podstawie uzyskanych wyników zauważalne jest zmniejszenie wytrzymałości na zginanie wraz ze wzrostem zawartości popiołu lotnego w glinie. Bardzo dobrze obrazuje to wykres (rys. 5), gdzie widoczny jest wpływ zmian wytrzymałości na zginanie w zależności od zawartości popiołu w glinie. Można to zaobserwować w przypadku próbek o zawartości 10% i 30% popiołu lotnego. Natomiast wartość średnia wytrzymałości na zginanie dla próbek o zawartości 20% popiołu lotnego jest podobna jak w przypadku próbek z 10-procentowym dodatkiem popiołu lotnego.



Rys. 5. Wykres zmian wytrzymałości na zginanie w zależności od zawartości popiołu w glinie
 Fig. 5. Graph of changes of the bending strength depending on the content of ash in clay

WNIOSKI

1. Stwierdzono istotny wpływ dodatku popiołu lotnego do gliny na zmianę gęstości objętościowej, bowiem im większy jest jego udział, tym mniejsza jest gęstość objętościowa badanych próbek: od $1704 \text{ kg} \times \text{m}^{-3}$ przy zawartości 10% popiołu lotnego do $1637 \text{ kg} \times \text{m}^{-3}$ przy zawartości 30% popiołu lotnego.

2. Z przeprowadzonych badań wynika, że im większy jest dodatek popiołu lotnego do gliny, tym mniejszy jest skurcz suszenia, co jest zjawiskiem pożądanym ze względu na zmniejszenie możliwości spękań w trakcie wysychania kompozytu glinowego.

3. Negatywnym zjawiskiem jest zmniejszenie wytrzymałości na ściskanie wraz ze wzrostem zawartości popiołu. W badanych próbkach różnica wytrzymałości na ściskanie pomiędzy próbkami zerowymi o 30-procentowej zawartości popiołu lotnego osiąga wartość 1,1 MPa. Jest to wartość znacząca, biorąc pod uwagę i tak niezbyt dużą wyjściową wytrzymałości na ściskanie, wynoszącą 4,4 MPa, osiąganą w przypadku próbek zerowych, a porównywalną z produktami z betonu komórkowego.

4. Wykonując konstrukcję budynku z gliny, zaleca się każdorazowe wykonanie badań wytrzymałościowych, które powinny być uwzględnione w obliczeniach projektowanych wewnętrznych i zewnętrznych ścian nośnych budynków wykonywanych z tego materiału.

5. Zauważalne jest także zmniejszenie wytrzymałości na zginanie wraz ze wzrostem zawartości popiołu lotnego w glinie. Wytrzymałość na zginanie jest istotna przy konstrukcjach murowych obciążonych mimosrodowo, a uzyskane wartości powinny byćbrane pod uwagę przy projektowaniu konstrukcyjnym ścian zewnętrznych.

PIŚMIENNICTWO

- Giergiczny Z., 2005. Popioły lotne z dużą zawartością związków wapna. Cement, Wapno, Beton 5, 271–282.
- Giergiczny Z., 2009. Popiół lotny składnikiem betonu – normalizacja i praktyka. Budownictwo, Technologie, Architektura 1, 26–33.
- BN-62/6738-01 Masy cementowo-gliniane z wypełniaczami.
- BN-62/6738-02 Budownictwo z gliny. Masy gliniane.
- BN-62/6749-02 Pustaki cementowo-gliniane, dymowe, spalinowe, wentylacyjne.
- BN-62/8841-04 Budownictwo z gliny. Ściany z gliny ubijanej. Warunki techniczne wykonania i odbioru.
- BN-62/9012-01 Cegły i bloki cementowo-gliniane z wypełniaczami.
- BN-79/6722-09 Popioły lotne i żużle z kotłów opalanych węglem kamiennym i brunatnym. Podział, nazwy i określenia.
- PN-EN 12390-3:2011. Badania betonu. Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badania.
- PN-EN 12390-5:2011. Badania betonu. Część 5: Wytrzymałość na zginanie próbek do badania.
- PN-EN 450-1. A1:2007 Popiół lotny do betonu. Część 1: Definicja, specyfikacje i kryteria zgodności;
- PN-EN 450-2. A1:2007 Popiół lotny do betonu. Część 2: Ocena zgodności.
- Ziółkowska M., 2013. Wpływ dodatku popiołu lotnego do gliny na jej właściwości mechaniczne i fizyczne. Praca magisterska. Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Katedra Inżynierii Budowlanej, SGGW, Warszawa.

EFFECT OF THE ADDITION OF FLY ASH ON THE PROPERTIES OF THE COMPOSITE CLAY-ASH

Abstract. The work is treating about the results of the survey of the fly ash to clay and his influence selected on physical and mechanical qualities of get composite. The survey were done on samples where contents of the fly ash in the attitude to the clay hesitated from 10–30%. Samples were subjected to examinations of determining the contraction of the drying, determining the density and mass, the compressive strength and the resistance to cutting. Final results of the survey obtained that the rise in the content of the fly ash is having a positive effect to physical qualities, negatively on mechanical qualities. Examined physical and mechanical qualities should take into account at design and structural buildings works associated with raising of buildings from clay.

Key words: clay, fly ash, endurance, drying, contraction

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 19.12.2014