

## Zaprawa murarska z dodatkiem popiołu lotnego

### A study on fly ash cement mortar as brick masonry

D. R. Seshu<sup>1\*</sup>, N. R. D. Murthy<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Professor of Civil Eng., National Institute of Technology, Warangal, Telangana, India

<sup>2</sup>Associated Professor of Civil Eng., CBIT, Hyderabad, Telangana, India

\*Corresponding author: D.R. Seshu, e-mail: ramadrs@gmail.com

#### Streszczenie

Zbadano wpływ popiołu lotnego zastępującego cement na wytrzymałość zaprawy murarskiej. Uzyskane wyniki wykazały, że częściowe zastąpienie cementu popiołem lotnym w zaprawie o dużej zawartości cementu jest możliwe nawet do 40%, bez niekorzystnego wpływu na właściwości zaprawy. Natomiast taki zamiennik cementu może mieć negatywny wpływ na wytrzymałość zaprawy o małej zawartości cementu, a substytucję cementu w takich zaprawach należy ograniczyć. Zatem zastępowanie cementu popiołem lotnym w tym przypadku może nie być opłacalne. Zastosowanie cegieł o dużej wytrzymałości pozwala na użycie mieszanek, w których cement można zastąpić popiołem lotnym w znacznym stopniu, zarówno w mieszankach o dużej zawartości cementu jak i mniejszej. Co najmniej 20% cementu można zastąpić popiołem lotnym. Zastosowanie cegieł o dużej wytrzymałości, w połączeniu ze spoiwem o dużej zawartości cementu sprawia, że cement można zastąpić popiołem lotnym w maksymalnym stopniu, bez negatywnego wpływu na wytrzymałość muru. W tym przypadku zawartość popiołu lotnego zastępującego cement może wynosić około 40%. Zastosowanie popiołu lotnego w zaprawie murarskiej ma bardzo korzystny wpływ na środowisko, z uwagi na ponowne wykorzystanie tego odpadu.

**Słowa kluczowe:** mur, popiół lotny, zaprawa cementowa, cegła, materiał odpadowy

#### Summary

The influence of cement replacement by fly ash in brick masonry strength was experimentally verified in the paper. The obtained results have shown that the replacement in rich in cement mortars is possible up to 40%, without unfavorable effect on mortars properties. However, this replacement can have unfavorable influence on mortar strength in the case of leaner cement mortars and the replacement in these mortars must be limited and hence the fly ash addition may not be useful. The use of high strength bricks allows the use of mortar mixes with higher level of cement replacement by fly ash as well as in rich and lean mixes. A minimum 20% of cement can be replaced by fly ash. The use of high strength bricks in combination with rich mortar mixes the cement can be replaced with fly ash to the maximum extent, without affecting the strength of brick masonry. In this case the replacement can be about 40%. The application of fly ash in masonry has a very favorable effect on environment because it is a useful developed of this waste.

**Keywords:** masonry, fly ash, cement mortar, brick, wastes

#### 1. Wprowadzenie

Murarstwo stosuje się w różnych konstrukcjach od wieków. Uważano je za jedną z pierwotnych sztuk, którą doprowadzono do perfekcji. Wytrzymałość muru zależy od wytrzymałości poszczególnych elementów takich jak kamienie czy cegły oraz wytrzymałości zaprawy. Ponadto wytrzymałość może również zależeć od jakości wykonania, rozmieszczenia cegieł w murze oraz jakości wody zarobowej i wody stosowanej w trakcie pielęgnacji.

#### 1. Introduction

Masonry is being used in different constructions since the ages. It was considered as one of the primitive arts which were carried to great perfection. The strength of masonry depends on strength of individual units, such as stones, bricks and strength of binding medium i.e. mortar. Further the strength also may depend on workmanship, arrangement of bricks in masonry and quality of water used for mixing and curing. Under compression, in the

W przypadku działania naprężeń ściskających na konstrukcję muru z cegieł, zaprawa odkształca się bardziej niż cegły i rozchodzi się poprzecznie, powodując zniszczenie muru. W związku tym jeżeli właściwości dwóch elementów muru są takie same, przy większym obciążeniu może nastąpić jego zniszczenie. Niektóre dodatki do zaprawy mogą poprawiać przyczepność w strefie kontaktowej, zwiększając tym samym wytrzymałość muru.

W wyniku rozwoju przemysłowego wiele odpadów gromadzi się w dużych ilościach, powodując zanieczyszczenie środowiska i stwarzając problemy związane z ich utylizacją. Popiół lotny jest takim produktem ubocznym pochodzącym ze spalania węgla w elektrowni, który należy poddać recyklingowi w odpowiedni sposób.

Popiół lotny zastosowano jako dodatek, a także materiał częściowo zastępujący cement, w celu zwiększenia wytrzymałości na ściskanie zaprawy murarskiej. Taka zaprawa zawierająca popiół lotny oraz mieszaninę cementu i piasku nazywana jest zaprawą cementowo-popiołową [ZCP], w odróżnieniu do zwykłych zapraw cementowych [ZC].

W dotychczasowych pracach, dotyczących zapraw cementowych do murowania ścian z cegieł (1, 2, 4), zaproponowano zależność wytrzymałości muru, cegieł i zaprawy w następującej formie:

$$\sigma_{bm} = K \sigma_b^{1/2} \sigma_m^{3/4} \quad [1]$$

gdzie:

$\sigma_{bm}$  – wytrzymałość muru,

$\sigma_b$  – wytrzymałość cegieł,

$\sigma_m$  – wytrzymałość zaprawy,

K – współczynnik wytrzymałości, stała.

Badania wpływu wielkości cegieł (3), wykazały, że zastosowanie dużych cegieł zmniejsza ilość spoin w murze, które stanowią słabszy element jego konstrukcji, co w efekcie zwiększa wytrzymałość muru. Stwierdzono również, że wytrzymałość na ściskanie zapraw o proporcji cementu do piasku 1:3, z 20% dodatkiem popiołu lotnego jest większa od zaprawy o proporcji 1:4 (5).

Badania zastosowania włókien w zaprawie murarskiej wykazały zwiększoną wytrzymałość, ponieważ włókna opóźniają powstawanie spękań w spoinach (4).

## 2. Program badań

Badania obejmowały murowanie i badanie murów z cegieł o wymiarach 230 x 230 mm, z dwoma warstwami cegieł. Zastosowano dwa rodzaje cegieł o dużej – 11,3 MPa oraz małej wytrzymałości na ściskanie – 3,4 MPa. Przygotowano zaprawy o czterech różnych proporcjach – 1:3, 1:4, 1:5 i 1:6. W każdej mieszance procentowa zawartość popiołu lotnego zastępującego cement wahała się od zera do 40%, co 10%. We wszystkich próbkach grubość spoiny wynosiła 10 mm. Łącznie zbadano 8 ścian z zaprawą cementową i 32 ściany z zaprawą cementowo-popiołową.

case of brick masonry, the mortar deforms more than the brick and expands laterally, causing failure of masonry. Hence if the characteristics of the two components of masonry are the same, then the failure may occur at a higher load. Also some additives in the mortar increase the adhesion bond at the contact faces, increasing the strength of masonry.

As a result of industrial growth, several waste materials are accumulating in large quantities causing environmental pollution and creating disposal problems. *Fly ash is such a byproduct of coal-heated power plants which needs to be recycled in a useful way.*

In the present investigation the fly ash is used as an additive as well as partial cement replacement material in improving the compressive strength of cement mortar in brick masonry. Such mortar consisting of fly ash, cement sand mix, is referred as 'Fly ash Cement Mortar' [FCM], in comparison to normal cement mortars [CM].

In the earlier investigations of cement mortar brick masonry (1, 2, 4), the relationship between strength properties of brick masonry, brick and that of mortar have been proposed in the following form:

$$\sigma_{bm} = K \sigma_b^{1/2} \sigma_m^{3/4} \quad [1]$$

where:

$\sigma_{bm}$  – strength of brick masonry,

$\sigma_b$  – strength of bricks,

$\sigma_m$  – strength of mortar,

K – strength coefficient, a constant.

The investigation of the brick size effect (3), reported that the use of large size bricks reduces the number of mortar joints, which are the weaker parts in the brick masonry, and hence resulted in the increased strength of masonry. It was also reported that the compressive strength of 1:3 cement mortar with 20% fly ash is higher than that of 1:4 cement mortar (5).

The investigation of the use of fibers in mortars for brick masonry was showing the increased strength of masonry, as the presence of fibers delay the onset of cracking in the mortar joints (4).

## 2. Experimental investigation

The experimental investigation consisted of casting and testing of brick masonry prisms of size 230 x 230 mm in plan, with two brick layers. Two types of bricks with high – 11.3 MPa and low – 3.4 MPa compressive strength respectively, were selected for this investigation. Four different cement mortar proportions 1:3, 1:4, 1:5 and 1:6 were used. In each mix the fly ash percentage replacing cement in the mortars was varied from zero to 40, in intervals of 10. In all prisms the mortar joint thickness of 10 mm was maintained. Thus a total of 8 CM brick prisms and 32 FCM brick masonry prisms, were tested.

The cement used in the investigation was 53 grade OPC. The sand used was graded as per IS 2116-1980 Zone-II sand, has fineness modulus of 2.86. The fly ash used was delivered by Vijayawada Thermal Power Station [VTPS]. The fly ash passing through 90  $\mu$ m

Zastosowano cement portlandzki klasy 53, zgodny z normą indyjską. Zastosowany piasek należał do kategorii 2 według normy indyjskiej IS 2116-1980, a jego moduł rozdrobnienia wynosił 2,86. Popiół lotny pozyskano z elektrociepłowni w miejscowości Vijayawada. Popiół lotny przechodził przez sito o oczku 90  $\mu\text{m}$ . Jego ciężar właściwy wynosił 1,95g/cm<sup>3</sup>, a zawartość krzemionki około 96%.

Po 28 dniach dojrzewania pod mokrymi workami jutowymi, wytrzymałość ścian badano za pomocą maszyny wytrzymałościowej, o maksymalnym obciążeniu 300 ton. Przed rozpoczęciem badań, ściany pokryto warstwą tynku gipsowego, aby zapewnić gładkie, równoległe powierzchnie, w górnych warstwach. Wyniki wytrzymałości na ściskanie badanych murów przedstawiono w tabelicy 1.

### 3. Wyniki i dyskusja

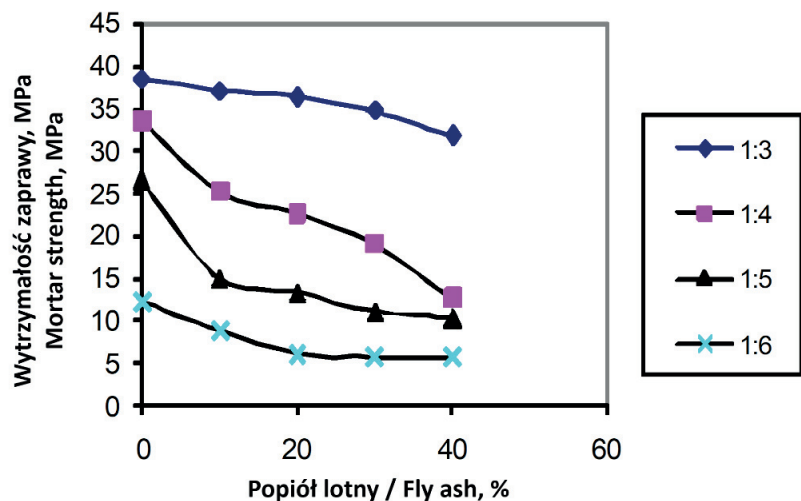
Wyniki badań wykazały, że częściowe zastąpienie cementu popiołem lotnym, zwiększa wytrzymałość muru. Jeśli cement zastąpi się popiołem lotnym w ilości nawet do 40%, wytrzymałość muru jest większa lub równa wytrzymałości muru na zaprawie cementowej, bez dodatku popiołu.

#### 3.1. Wpływ popiołu lotnego na wytrzymałość zaprawy

Wyniki badań pokazały jak zmienia się wytrzymałość zaprawy w zależności od udziału popiołu lotnego zastępującego cement – rysunek 1. Okazało się, jak wspomniano w punkcie 2, że w przypadku mieszanek bogatych w cement, zastosowanie popiołu lotnego częściowo zastępującego cement jest bardzo korzystne, także z ekonomicznego punktu widzenia. Natomiast nie ma większego wpływu na wytrzymałość zaprawy. Spadek wytrzymałości wynosi 15% w przypadku zaprawy, w której 40% cementu zastąpiono popiołem lotnym. Natomiast w przypadku zapraw z mniejszą zawartością cementu, jego częściowe zastąpienie popiołem lotnym powoduje spadek wytrzymałości zaprawy większy od 15%. Zatem zastąpienie cementu w tym przypadku może się nie opłacać.

#### 3.2. Wpływ popiołu lotnego na wytrzymałość muru

Zastosowanie cegieł o dużej wytrzymałości pozwala na stosowanie zapraw o większym udziale popiołu lotnego, zastępującego cement, zarówno w przypadku zapraw o dużej zawartości cementu jak i zapraw z mniejszą jego zawartością. Na rysunkach 2 i 3 pokazano zestawienie wyników pomiarów wytrzymałości murów na zaprawach z dodatkiem popiołu lotnego, odpowiednio dla cegieł o dużej i małej wytrzymałości. Wyniki wykazały, że jeśli wytrzymałość cegieł wynosi nie mniej niż 30% wytrzymałości zaprawy, to zastąpienie cementu popiołem lotnym może wynosić aż 40% w przypadku zapraw o dużej zawartości cementu oraz 20% w przypadku zapraw o mniejszej zawartości cementu. Jeżeli wytrzymałość cegieł jest mniejsza niż 30% wytrzymałości zaprawy, około 30% cementu można zastąpić popiołem lotnym, w przypadku



Rys. 1. Zależność wytrzymałości na ściskanie od zawartości popiołu lotnego

Fig. 1. Mortar compressive strength vs % of fly ash

sieve was used in all experiments. The specific gravity of fly ash was 1.95 g/cm<sup>3</sup> and the silica content was about 96%.

After curing for 28 days, under wet jute in gunny bags, the brick masonry prisms were tested using 300 T compression testing machine. The prisms were covered with the plaster of Paris layer before testing, to provide smooth parallel surfaces at the top. The compressive strength test results of brick masonry prisms are presented in Table 1.

### 3. Results and discussions

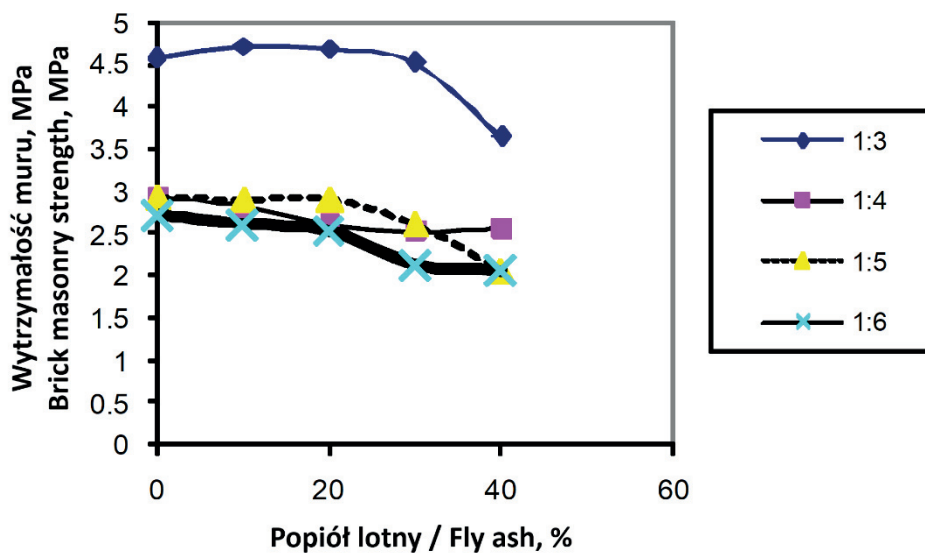
In general the experimental results indicated that the partial replacement of cement with fly ash has increased the brick prisms strength. Even up to 40% replacement, the strength of brick prisms is either increased, in comparison to the prisms with cement mortar without fly ash, or maintained the strength of these brick prisms.

#### 3.1. The effect of fly ash on mortar strength

From the experimental results variation in mortar strength with the fly ash addition replacing cement was studied [Fig.1]. This indicate, as aforementioned in point 2, that in the case of rich mixes the use of fly ash as partial replacement for cement is very useful and works out to be more economical, without much affecting the strength of mortar. The strength loss is about 15% for 40% of fly ash replacing cement. However, in the case of leaner mixes the fly ash replacement resulted in the loss of mortar strength by more than 15% and hence the replacement may not be useful.

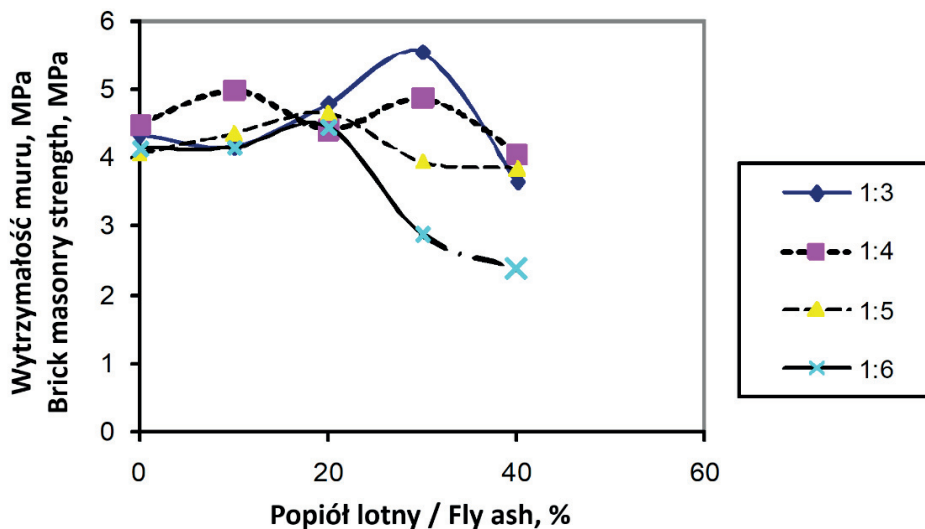
#### 3.2. The effect of fly ash on brick masonry prism strength

The use of high strength bricks allows the use of mortar mixes with higher levels of cement replacement with fly ash, in both rich and leaner mixes. The variation of brick masonry strength with fly ash is represented in Figs. 2 and 3 for low and high strength bricks



Rys. 2. Zależność wytrzymałości na ściskanie muru od zawartości popiołu lotnego [wytrzymałość cegiel: 3,37 MPa]

Fig. 2. Brick masonry compressive strength vs % of fly ash [brick strength: 3.37MPa]



Rys. 3. Zależność wytrzymałości na ściskanie muru od zawartości popiołu lotnego [wytrzymałość cegiel: 11,31 MPa]

Fig. 3. Brick masonry compressive strength vs % of fly ash [brick strength: 11.31MPa]

zapraw o dużej zawartości cementu oraz około 20% w przypadku mieszanek o mniejszej zawartości cementu.

Zatem zastosowanie cegieł o dużej wytrzymałości, z zaprawą o dużej zawartości cementu, pozwala na zastąpienie cementu popiołem lotnym w maksymalnym stopniu, bez wpływu na wytrzymałość muru.

### 3.3. Wpływ popiołu lotnego na współczynnik wytrzymałości muru

Wpływ popiołu lotnego zastępującego cement na wartość współczynnika wytrzymałości muru – K, obliczono według wzoru 1. Wartości współczynnika wytrzymałości podano w tablicy 1, a jego zmiany, w zależności od zawartości popiołu zastępującego ce-

respektywnie. The diagrams indicate that if the brick strength is not lower than 30% of mortar strength the cement replacement with fly ash can be as high as 40% in the case of rich mortar mixes and the same can be about 20% with leaner mixes. If the brick strength is lower, i.e. less than 30% of mortar strength, about 30% of cement can be replaced with fly ash with rich mortar mixes and the replacement can be about 20% in the case of leaner mixes.

Hence with the use of high strength bricks in combination with rich mortar mixes the cement can be replaced with fly ash to the maximum content, without affecting the strength of brick masonry.

### 3.3. The effect of fly ash on brick masonry strength coefficient

The effect of fly ash cement replacement on the brick masonry strength coefficient [K] is calculated using the Eq.1. The values of strength coefficient are tabulated in Table 1 and the variation of this coefficient with fly ash replacing cement is shown in Figs. 4 and 5, for high and low strength bricks respectively. The graph indicates that the FCM brick masonry strength coefficient [K] is almost constant, for particular brick strength. The strength coefficient [K] can be taken as 0.62 and 0.82 for high bricks strength equal 11.3 MPa and low bricks strength i.e. 3.4 MPa respectively.

## 4. Conclusions

The following conclusions were drawn from the experimental results of the fly ash cement mortar brick masonry.

1. Fly ash as partial replacement of cement is very useful in rich cement mortar mixes. 40 % replacement is possible without affecting much the strength of mortars.
2. The fly ash replacement in leaner cement mortar mixes resulted in loss of mortar strength by more than 15% and hence the cement replacement with fly ash may not be useful.
3. The use of high strength bricks allows the use of mortar mixes with higher levels of cement replacements by the fly ash, both in rich and lean mixes. A minimum of 20 % cement can be replaced with fly ash.
4. The use of high strength bricks in combination with rich mortar mixes the cement can be replaced with fly ash to the maximum



Tablica 1 / Table 1

SKŁAD ZAPRAW I WYTRZYMAŁOŚĆ NA ŚCISKANIE MURÓW

COMPOSITION OF MORTARS AND COMPRESSIVE STRENGTH TEST RESULTS OF BRICK MASONRY PRISMS

Próbka Specimen*	Proporcje składników zaprawy Mortar mix	Zawartość składników, g Quantity materials used, g				W/C	W/(C+FA)	Udział popiołu lotnego Percent of fly ash, %	Wytrzymałość zaprawy Mortar strength	Wytrzymałość muru Brick masonry strength, MPa		Współczynnik wytrzymałości, K Strength coefficient, K	
		Cement C	Popiół lotny Fly ash, FA	Piasek Sand	Woda Water					11.31 MPa	3.37 MPa	Cegły o wytrzymałości Bricks 11.31MPa	Cegły o wytrzymałości Bricks 3.37MPa
CM-A0	1:3	3340	0	10000	1840	0.55	0.55	0	38.3	4.33	4.48	0.517	0.981
FCM-A10	1:3	3000	330	10000	1840	0.61	0.55	10	37.01	4.16	4.71	0.501	1.041
FCM-A20	1:3	2670	670	10000	1840	0.69	0.55	20	36.25	4.78	4.68	0.579	1.039
FCM-A30	1:3	2340	1000	10000	1840	0.78	0.55	30	34.6	5.53	4.53	0.678	1.018
FCM-A40	1:3	2000	1340	10000	1840	0.92	0.55	40	31.73	3.65	3.65	0.419	0.838
CM-B0	1:4	2500	0	10000	1750	0.70	0.70	0	33.59	4.47	2.94	0.552	0.665
FCM-B10	1:4	2250	250	10000	1750	0.77	0.70	10	25.16	4.97	2.83	0.659	0.688
FCM-B20	1:4	2000	500	10000	1750	0.87	0.70	20	22.55	4.4	2.62	0.600	0.655
FCM-B30	1:4	1750	750	10000	1750	1.00	0.70	30	18.99	4.86	2.54	0.692	0.663
FCM-B40	1:4	1500	1000	10000	1750	1.16	0.70	40	12.58	4.06	2.58	0.641	0.746
CM-C0	1:5	2000	0	10000	1800	0.90	0.90	0	26.56	4.05	2.93	0.530	0.703
FCM-C10	1:5	1800	200	10000	1800	1.00	0.90	10	14.9	4.35	2.91	0.658	0.807
FCM-C20	1:5	1600	400	10000	1800	1.12	0.90	20	13.22	4.65	2.91	0.725	0.832
FCM-C30	1:5	1400	600	10000	1800	1.28	0.90	30	10.98	3.93	2.61	0.642	0.781
FCM-C40	1:5	1200	800	10000	1800	1.50	0.90	40	10.19	3.83	2.05	0.637	0.625
CM-D0	1:6	1670	0	10000	1840	1.10	1.10	0	12.24	4.13	2.73	0.656	0.795
FCM-D10	1:6	1500	170	10000	1840	1.22	1.10	10	8.9	4.14	2.62	0.712	0.826
FCM-D20	1:6	1340	330	10000	1840	1.37	1.10	20	6.1	4.44	2.54	0.840	0.881
FCM-D30	1:6	1170	500	10000	1840	1.57	1.10	30	5.76	2.87	2.13	0.551	0.749
FCM-D40	1:6	1000	670	10000	1840	1.84	1.10	40	5.74	2.37	2.56	0.455	0.901

\*CM – zaprawa cementowa, FCM – zaprawa cementowo-popiołowa

ment, pokazano na rysunkach 4 i 5, odpowiednio dla cegieł o dużej i małej wytrzymałości. Dane na wykresie wykazały, że współczynnik wytrzymałości K muru na zaprawie cementowo-popiołowej jest właściwie stały dla cegieł, o danej wytrzymałości. Współczynnik wytrzymałości K wynosi 0,62 i 0,82, odpowiednio dla cegieł o dużej wytrzymałości – 11,3 MPa i małej wytrzymałości – 3,4 MPa.

#### 4. Wnioski

Uzyskane wyniki badań zapraw murarskich z dodatkiem popiołu lotnego zastępującego cement, pozwalają na wysunięcie następujących wniosków.

1. Częściowe zastąpienie cementu popiołem lotnym jest korzystne, w przypadku zapraw o dużej zawartości cementu. Można zastąpić 40% cementu popiołem lotnym, bez większego wpływu na wytrzymałość zapraw.

2. Zastąpienie cementu popiołem lotnym, w przypadku zapraw o mniejszej zawartości cementu w mieszance, powoduje spadek wytrzymałości zaprawy o więcej niż 15%. Zatem zastąpienie cementu popiołem lotnym w tym przypadku może nie być opłacalne.

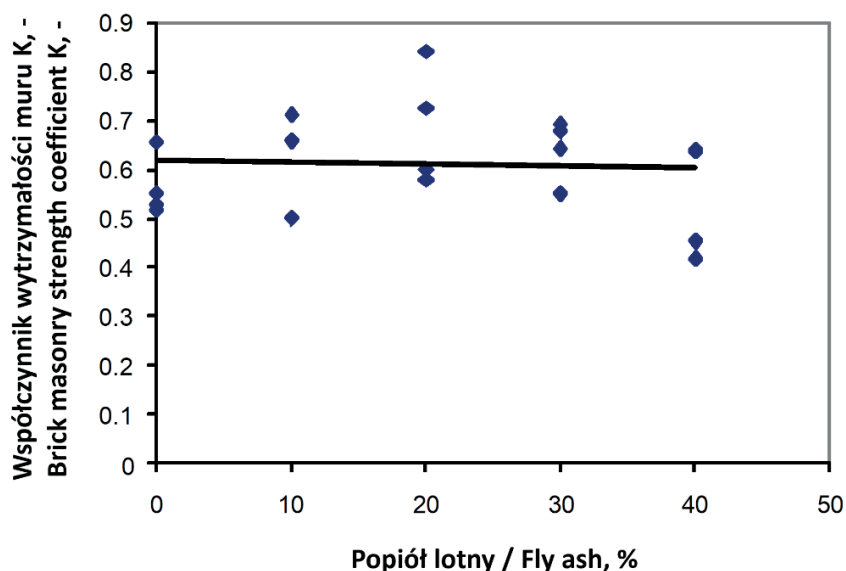
3. Zastosowanie cegieł o dużej wytrzymałości, pozwala na stosowanie zapraw o większym udziale popiołu lotnego zastępującego cement, zarówno w przypadku zapraw o dużej zawartości cementu, jak i zapraw z mniejszą jego zawartością. Co najmniej 20% cementu można zastąpić popiołem lotnym.

4. Zastosowanie cegieł o dużej wytrzymałości, w połączeniu z zaprawą o dużej zawartości cementu, pozwala na zastąpienie cementu popiołem lotnym w maksymalnym stopniu, bez wpływu na wytrzymałość muru. Zastąpienie cementu popiołem lotnym może wynosić około 40%.

5. Współczynnik wytrzymałości K muru na zaprawie cementowo-popiołowej jest właściwie stały dla cegieł o danej wytrzymałości, niezależnie od proporcji składników zaprawy.

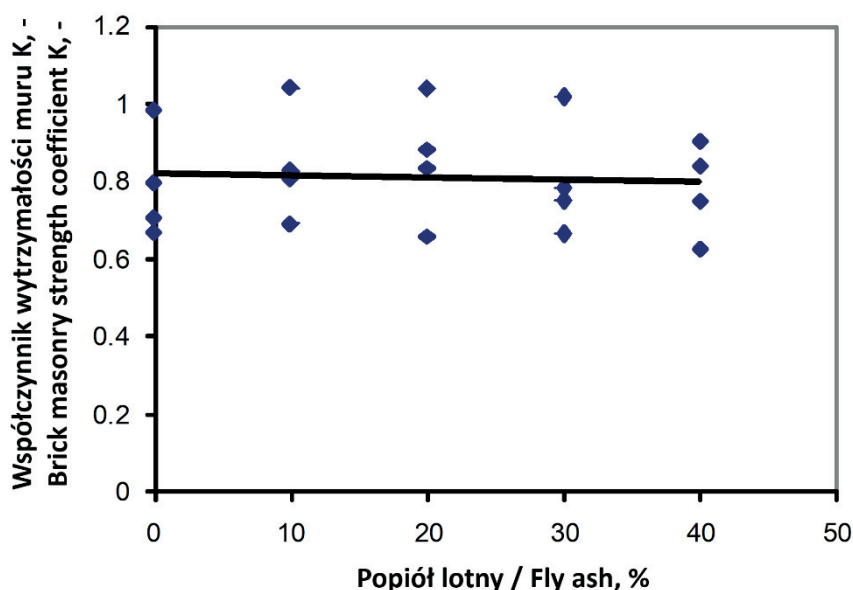
#### Podziękowania

Autorzy składają podziękowania Dyrektorowi za wsparcie oraz Laboratorium Inżynierii Budowlanej w NIT w indyjskim Warangal za przeprowadzenie badań.



Rys. 4. Zależność współczynnika wytrzymałości K muru od zawartości popiołu lotnego; [cegły o dużej wytrzymałości]

Fig. 4. Brick masonry strength coefficient K vs % of fly ash; [high strength brick]



Rys. 5. Zależność współczynnika wytrzymałości K muru od zawartości popiołu lotnego; [cegły o małej wytrzymałości]

Fig. 5. Brick masonry strength coefficient K vs % of fly ash [low strength bricks]

extent, without affecting the strength of brick masonry. The replacement can be about 40 %.

5. The FCM brick masonry strength coefficient (K) is almost constant for particular brick strength irrespective of mortar mix proportion.

#### Acknowledgement

The authors wish to acknowledge the Director for the support and the structural engineering laboratory facilities of NIT Warangal in carrying out the investigation.

## Literatura / References

1. Deodhar, S.V. and Patel, A.N.'Strength relationship between brick and brick masonry', Institution of Engineer's India. Vol. 76(1), 1995: pp. 158-159
2. Pande, G.N., Kralj, B. and Middleton. J. 'Analysis of compressive strength of masonry', Structural Engineering. Vol. 130(3), 2001: pp. 386-395
3. Deodhar.S.V and Patel.A.N, ' Effect of size of sand in mortar and bed joint thickness on compressive strength in brick masonry', JI of Structural Engg, July 1998
4. Sunil Kute and Deodhar.S.V, 'Improvement in compressive strength of brick masonry by using MS fibre', JI of Structural Engg, June/July 2005.
5. Prasad.C.Nagendra and Vidya.B., 'Strength of Brick Masonry prisms when cement is replaced with fly ash, IUP Journal of Structural Engineering, Vol.V, No.4, October 2012, pp.53-60