

WOJCIECH PIASTA¹
MONIKA JAWORSKA²
AGNIESZKA BUCIK³

Kielce University of Technology

¹e-mail: wpiasta@tu.kielce.pl

²e-mail: monikajaworska@o2.pl

³e-mail: bucikagnieszka@gmail.pl

INFLUENCE OF HIGH CALCIUM AND LOW CALCIUM FLY ASHES ON STRENGTH AND WATER ABSORPTION OF MORTARS

Abstract

The research was carried out to evaluate water absorption and strength of cement mortars with admixture of fly ashes. There have been presented experimental results of high and low calcium fly ashes content and their combination on the physical properties of cement mortars. The tests were carried out using samples 4 x 4 x 16 cm in accordance to standard procedures.

Keywords: fly ash, mortars, water absorption

1. Introduction

Fly ashes play significant role in contemporary concrete technology, and their application allows obtaining economical and ecological benefits. High calcium and low calcium fly ashes, as components of concrete modify the properties of both concrete mixture, as well as concrete [1]. Physical properties of cement composites, such as water absorption and strength above all depend on microstructure of cement mortar, and further, on capillary porosity, distribution of pores sizes and phase composition of mortar. These properties are in turn tightly connected with w/c ratio and the degree of cement hydration, which is considerably influenced by content and type of mineral admixture in cement mortar. To a considerable degree, high calcium and low calcium fly ashes delay hydration of a binder, influencing the strength and other physical properties of composites [3, 4]. Giergiczny [5] points to positive influence of high calcium ash on 28-day strength of concretes. On the other hand, replacement of part of cement volume with low calcium fly ash causes reduction in strength in tender age of cement mortar [6].

Water absorption may be described as the ability to “suck up” water through capillaries [8]. With a constant w/cm ratio, water absorption increases,

approximately, lineally with content of cement mortar [9]. It has to be specifically taken into account with composites with large amount of binder. Water absorption may also be influenced by the application of mineral additive that replaces part of Portland cement volume (similarly, like the change in cement type). In connection with slower hydration and due to longer pozzolanic reaction, concrete’s water absorption may be increased when binder contains fly ashes. According to Rusin [10], replacement of part of cement volume with low calcium fly ash boosts up water absorption of mortars. The influence of high calcium fly ashes and their amounts on water absorption is not fully explained.

2. Own surveys

Conducted surveys aimed at determining influence of two fly ashes on strength and water absorption of mortars. Survey agenda assumed determination of relationship between strength and water absorption and the type and amount of used fly ash. Low calcium and high calcium fly ashes were considered.

2.1. Characteristics of surveyed mortars

Portland cement CEM I 42,5 R, silica(V) and high calcium(PW) fly ashes were used. Experiment covered 7 types of mortars made of cement or cement

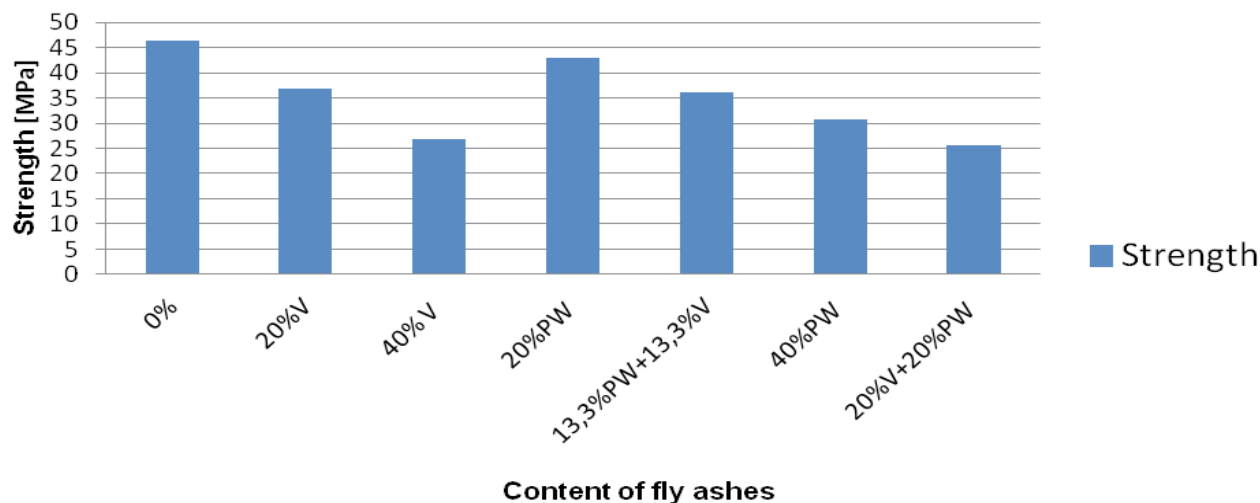


Fig. 1. Influence of fly ash content on strength of cement mortars

and fly ashes or their mixture. Table 1 lists the content of ashes in binder and mortars' compositions. W/s ratio was constant and amounted to: 0.6. Weight ratio of components, cement : sand : water was 1 : 3 : 0.6. Mortars were prepared according to unified procedure in terms of dosage, mixing and samples' forming.

Table 1. Gravimetric composition of surveyed mortars

Content [%]	Cement content [g]	Content V [g]	Content PW [g]
CEM I 100%	1000	0	0
CEM I 80% + V20%	400	100	0
CEM I 60% + V40%	300	200	0
CEM I 80% + PW20%	400	0	100
CEM I 60% + PW40%	300	0	200
CEM I 60% + V20% + PW20%	300	100	100
CEM I 73.3% + 13.3%V + 13.3%PW	370	65	65

2.2. Survey methodology

Compressive strength test was conducted according to PN-EN 196-1:2005. Every compressive strength test was conducted for six 40 x 40 x 160 mm mortar samples, after 28 days of curing in water. Water absorption of every mortar was determined with the use of three standardized samples, which after 28 days of curing in water were dried for 48 h in temperature of 105°C.

3. Analysis of test results

Table 2 contains results of compressive strength test. The influence of fly ash admixtures on strength of cement composites was shown in Figure 1.

Table 2. Results of mortars' strength tests, f_{c28}

Mortar – ash content	Average strength [MPa]
0%	46.27
20%V	36.95
40%V	26.87
20%PW	42.88
40%PW	30.84
20%V + 20%PW	25.61
13.3%PW+13.3%V	36,12

Relationships illustrated in Figures 1 and 3 prove that fly ash admixture considerably affects strength of cement composites. Mortar strength lowers together with the increase of fly ash amount in binder. Mortars containing high calcium ash showed much higher compressive strength than mortars with low calcium ash. Samples containing 20% of high calcium ash reached almost the same strength, as mortars prepared with CEM I. Strength of mortars containing low calcium ash decreases proportionally to its content and is lower than the strength of mortars with high calcium ash. Figure 3 shows that strength clearly tends to decline with the rise in fly ash contents. Beyond of strength diminishing together with rising content of each of the ashes or their mixture qualitative effect which is connected with type of fly ash. This effect was marked in Figure 3 with two straight lines (marked blue and red), which clearly show that strength of mortars with an addition of high calcium ash is higher than low calcium ash.

Results of water absorption test were presented in Table 3 and Figure 2.

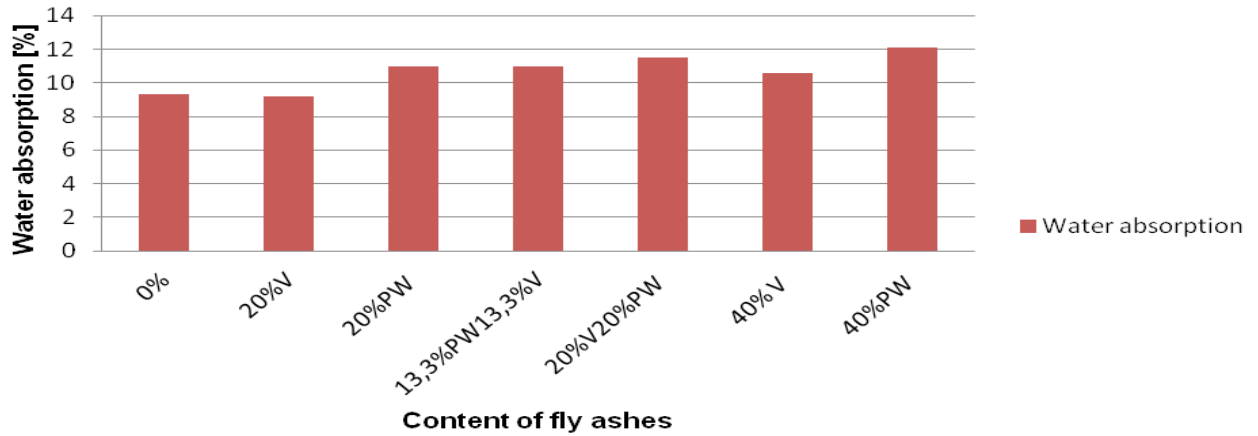


Fig. 2. Influence of fly ashes on water absorption of cement mortars

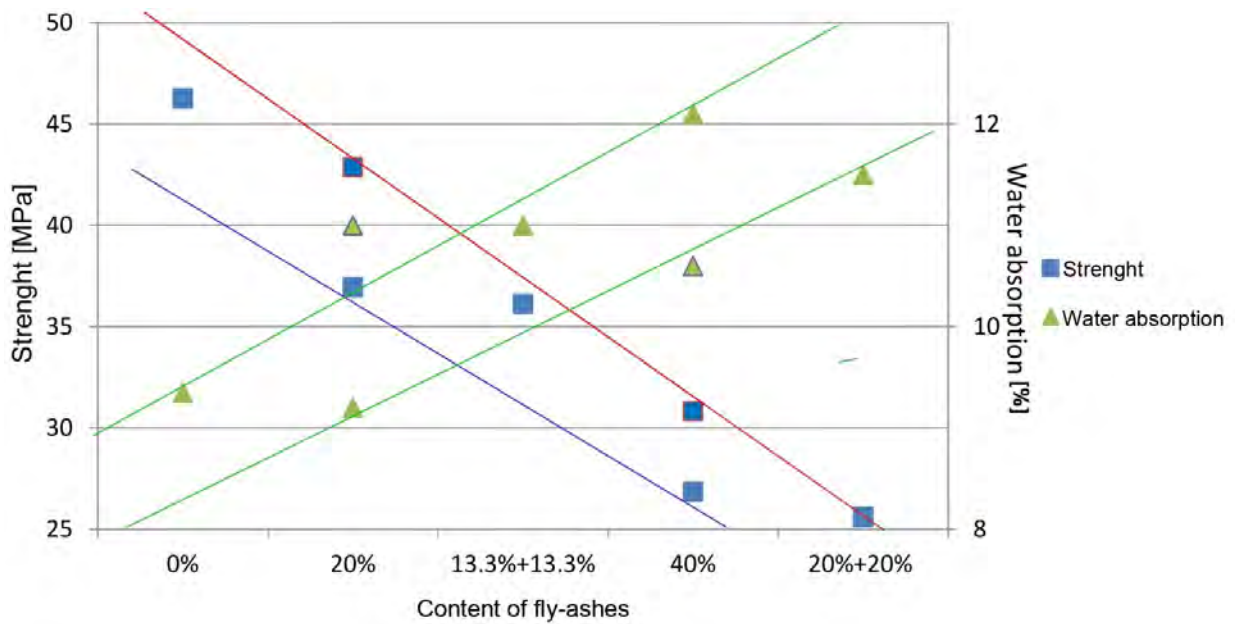


Fig. 3. Relationship between strength and water absorption of cement mortars and amount of fly ashes in binder

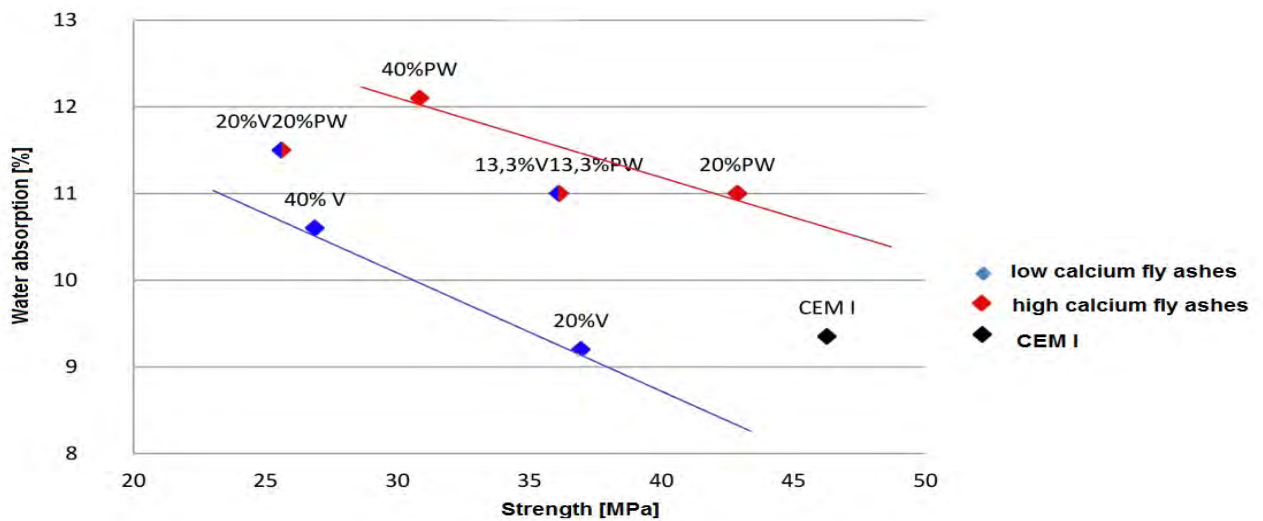


Fig. 4. Relationship between strength and water absorption of cement mortars

Table 3. Results of mortars' gravimetric water absorption, n_w

Mortar – ash content	Average water absorption [%]
0%	9.35
20%V	9.20
40%V	10.6
20%PW	11.0
40%PW	12.1
20%V20%PW	11.5
13.3%PW13.3%V	11.0

Results of gravimetric water absorption are in the range from 9.20% for mortars with 20% of low calcium ash addition to 12.1% for mortars in which 40% of Portland cement was replaced with high calcium ash. The mortars containing low calcium ash in the amount of 20% have almost the same water absorption, as mortars of plain Portland cement. In the case of mortars with 20% addition of high calcium ash, as well as mortars, in which the amount of ashes reached 26.6%, water absorption was the same, equalling to 11%, that is much less than that of mortars with Portland cement and mortars with binder containing low calcium ash alone. Cement composites in binder of which 40% Portland cement was replaced with fly ashes showed among surveyed samples the highest ability to absorb water. Aside quantitative effect, connected with replacing cement with fly ashes, very clear qualitative influence was identified. It means that the rise in water absorption of mortars with high calcium ash added is much higher than that in the case of mortars with low calcium ash added, which was illustrated with straight (green) lines in Figure 3.

Figure 4 illustrates relationship between strength and water absorption of hardened mortars. The increase in strength is accompanied by the fall of water absorption of cement composites. It was noted that despite higher strengths of mortars containing high calcium ash, water absorption is significantly higher than in the case of mortars containing low calcium ash or mixture of both ashes.

4. Conclusions

On the basis of test results following conclusions have been drawn:

- Fly ashes exercise significant impact on physical properties of cement mortars. Clear quantitative, as well as qualitative influence of applied fly ashes and their mixtures was found.
- Strength of mortar containing high calcium ash added is higher than the strength in the case of low calcium ash mortar.

- Despite higher strengths of mortars containing high calcium ash, water absorption is distinctly higher than that of mortars containing low calcium ash and mixture of both ashes.
- If more than 20% of cement is replaced with low calcium or high calcium ash or their mixtures, physical properties of cement composites are substantially influenced.

References

- [1] Gołaszewski J., Kostrzanowska A., Ponikiewski T., Antonowicz G., *Influence of high calcium fly ash on rheological properties of cement pastes and mortar*. Roads and Bridges, Warszawa, 2013, pp. 99–112.
- [2] Gołaszewski J., Drewniak M., *Wpływ popiołu wapiennego na efekt działania domieszek napowietrzających [Influence of high calcium ash on the effect of aeration admixture performance]*. Civil and Environmental Engineering, 2011, pp. 267–274.
- [3] Thomans M.D.A., Shehata M.H., Shashiprakash S.G., Hopkins D.S., Cail K., *Use of ternary cementitious systems containing low calcium fume and fly ash in concrete*. Cement and Concrete Research 1999, Vol. 29, pp. 1270–1214.
- [4] Giergiczny Z., *Rola popiołów lotnych wapiennych i krzemionkowych w kształtowaniu właściwości spoiw budowlanych i tworzyw cementowych [Role of high calcium and low calcium fly ashes in shaping properties of construction binders and cement materials]*, Politechnika Krakowska, Kraków, 2006.
- [5] Giergiczny Z., *Właściwości popiołu lotnego a trwałość betonu [Fly ash properties and concrete's durability]*. Polski Cement, 2007.
- [6] Nowak-Michta A., *Compressive strength of low calcium fly ash concretes*. Technical Transactions, Kraków, 2012.
- [7] Burden D., *The Durability of Concrete Containing High Levels of Fly Ash Research and development Information*. Masters of Science in Engineering, New Brunswick 2006.
- [8] Castro J., Bentz D., Weiss J., *Effect of sample conditioning on the water absorption of concret*. Cement & Concrete Composites, USA, 2011.
- [9] Koliass S., Georgiou C., *The effect of paste volume and of water content on the strength and water absorption of concrete*. Cement & Concrete Composites, Greece 2005.
- [10] Rusin Z., Stelmaszczyk G., Świercz P., Nowak Ł., *Porosity and water absorption of mortars with CEM I, CEM II/B-V and CEM III/A in context of frost resistance*.
- [11] Wawrzęczyk J., Molendowska A., Kłak A., *Wpływ wybranych czynników na wyniki badania nasiąkliwości betonu [Influence of selected factors to concrete's water absorption test results]*. „Budownictwo i Architektura” 2013, 12(3), s. 239–246.

Wojciech Piasta
Monika Jaworska
Agnieszka Bucik

Wpływ wapiennego i krzemionkowego popiołu lotnego na wytrzymałość i nasiąkliwość zapraw

1. Wprowadzenie

Popioły lotne odgrywają bardzo ważną rolę we współczesnej technologii betonu, a ich stosowanie pozwala na uzyskanie korzyści ekonomicznych i ekologicznych. Popioły lotne wapienne i krzemionkowe jako składnik betonu modyfikują zarówno właściwości mieszanki betonowej, jak i stwardniałego betonu [1]. Właściwości fizyczne kompozytów cementowych, takie jak nasiąkliwość i wytrzymałość są przede wszystkim zależne od mikrostruktury zaczynu cementowego, a w tym od porowatości kapilarnej, rozkładu wielkości porów oraz składu fazowego zaczynu. Cechy te z kolei są mocno związane ze stosunkiem w/c oraz stopniem hydratacji cementu, na który w sposób bardzo istotny wpływa zawartość i rodzaj dodatków mineralnych w zaczynie cementowym. Popioły lotne: krzemionkowy i wapienny, w znacznym stopniu opóźniają hydratację spoiwa wpływając na wytrzymałość i inne właściwości fizyczne kompozytów [3, 4]. Giergiczny [5] wskazuje na korzystny wpływ popiołu wapiennego na wytrzymałość 28-dniową betonów. Natomiast zastąpienie części cementu popiołem lotnym krzemionkowym powoduje redukcję wytrzymałości w młodym wieku zaczynu cementowego [6].

Nasiąkliwość można opisać jako zdolność do podciągania wody przez kapilary [8]. Przy stałym stosunku w/c absorpcja wody zwiększa się w przybliżeniu liniowo wraz z zawartością zaczynu cementowego [9]. Należy zwrócić szczególną uwagę przy kompozytach zawierających dużą ilość spoiwa. Wpływ na nasiąkliwość może mieć także wprowadzany rodzaj dodatku mineralnego zastępującego część cementu portlandzkiego (podobnie jak zmiana rodzaju cementu). W związku z wolniejszą hydratacją z powodu wydłużonej w czasie reakcji pucolanowej, nasiąkliwość betonu może być zwiększona w przypadku gdy spoiwo zawiera popioły lotne. Według Rusina [10] zastąpienie części cementu popiołem krzemionkowym

zwiększa nasiąkliwość zapraw. Nie do końca jest wyjaśniony wpływ popiołów wapiennych oraz ich ilości zastępujących części cementu na nasiąkliwość.

2. Badania własne

Zrealizowane badania miały na celu określenie wpływu dwóch popiołów lotnych na wytrzymałość i nasiąkliwość zapraw. Plan badań zakładał określenie zależności wytrzymałości i nasiąkliwości od rodzaju i ilości stosowanego popiołu lotnego. Stosowane popioły lotne to popiół krzemionkowy i wapienny.

2.1. Charakterystyka badanych zapraw

Do badań zastosowano cement portlandzki CEM I 42,5 R, popioły: krzemionkowy(V) i wapienny(PW). Doświadczenie objęło 7 rodzajów zapraw wykonywanych z cementu lub cementu i popiołu lotnego lub ich mieszanki. W tabeli 1 została podana zawartość popiołów w spoiwie oraz skład zapraw. Współczynnik w/s był stały i wynosił 0,6. Stosunek wagowy składników, cement : piasek : woda wynosił 1 : 3 : 0,6. Zaprawy zostały przygotowane według ujednoliconej procedury dotyczącej dozowania, mieszania i formowania próbek.

2.2. Metody badań

Próbę wytrzymałości na ściskanie wykonano zgodnie z normą PN-EN 196-1:2005. Każdemu badaniu wytrzymałości na ściskanie poddano sześć próbek zapraw 40 x 40 x 160 mm po 28 dniach dojrzewania w wodzie. Nasiąkliwość każdej zaprawy określono na trzech próbkach normowych, które po 28 dniach dojrzewania w wodzie wysuszono w temperaturze 105°C, przez 48 h.

3. Analiza wyników badań

Z przedstawionych zależności na rysunku 1 i 3 wynika, że dodatek popiołów lotnych w znaczący sposób wpływa na wytrzymałość kompozytów cementowych. Wraz ze wzrostem ilości popiołu lotnego w spoiwie wytrzymałość zaprawy maleje. Zaprawy

zawierające popiół wapienny wykazały znacznie większą wytrzymałość na ściskanie niż zaprawy z popiołem krzemionkowym. Próbkę, w których użyto 20% popiołu wapiennego, uzyskały prawie taką samą wytrzymałość po 28 dniach jak zaprawy wykonane z CEM I. Wytrzymałość zapraw z cementu zawierającego popiół krzemionkowy maleje proporcjonalnie do jego zawartości i jest mniejsza niż wytrzymałość zapraw z popiołem wapiennym. Rysunek 3 pokazuje, że wytrzymałość ma wyraźną tendencję malejącą wraz ze wzrostem zawartości popiołów lotnych. Jednak oprócz zmniejszania się wytrzymałości wraz z coraz większą ilością każdego z popiołów lub ich mieszaniny zaznacza się wyraźnie wpływ jakościowy związany z rodzajem popiołu lotnego. Wpływ ten na rysunku 3 zasygnalizowano dwiema prostymi (oznaczone kolorem niebieskim i czerwonym), które wyraźnie pokazują, że wytrzymałość zaprawy z dodatkiem popiołu wapiennego jest wyższa, niż z dodatkiem popiołu krzemionkowego.

Wyniki nasiąkliwości wagowej mieszczą się w zakresie od 9,20% dla zapraw z 20% dodatkiem popiołu krzemionkowego do 12,1% dla zapraw, w których zastąpiono 40% cementu portlandzkiego popiołem wapiennym. Zaprawy zawierające popiół krzemionkowy w ilości do 20% mają prawie taką samą nasiąkliwość jak zaprawy wykonane z czystego cementu portlandzkiego. W przypadku zapraw z 20% dodatkiem popiołu wapiennego jak i zaprawy, w których ilość popiołów lotnych wynosiła 26,6% nasiąkliwość była taka sama i wynosiła 11%, a więc była dużo niższa niż zapraw z cementem portlandzkim i zaprawy z spoiwem zawierającym sam popiół krzemionkowy. Kompozyty cementowe, w których spoiwie zastąpiono 40% cementu portlandzkiego popiołami lotnymi wykazały największą zdolność do wchłaniania wody spośród badanych próbek. Oprócz wpływu ilościowego związanego z zastąpieniem cementu przez popioły lotne, stwierdzono bardzo wyraźny wpływ jakościowy. Polega on na tym, że wzrost nasiąkliwości zapraw z dodatkiem popiołu wapiennego jest znacznie większy niż zapraw z dodatkiem popiołu krzemionkowego, co oznaczono prostymi (koloru zielonego) na rysunku 3.

Rysunek 4 przedstawia relację między wytrzymałością i nasiąkliwością stwardniałych zapraw. Wzrostowi wytrzymałości towarzyszy spadek nasiąkliwości kompozytów cementowych. Zaobserwowano, że mimo wyższych wytrzymałości zapraw z popiołem wapiennym nasiąkliwość jest wyraźnie większa niż zapraw z popiołem krzemionkowym i mieszaniną obydwóch popiołów.

4. Wnioski

Na podstawie wyników badań stwierdzono następujące wnioski:

- Popioły lotne mają znaczący wpływ na właściwości fizyczne zapraw cementowych. Stwierdzono wyraźny wpływ ilościowy i jakościowy stosowanych popiołów lotnych i ich mieszanin.
- Wytrzymałość zaprawy z dodatkiem popiołu wapiennego jest wyższa niż z dodatkiem popiołu krzemionkowego.
- Mimo wyższych wytrzymałości zapraw z popiołem wapiennym, nasiąkliwość jest wyraźnie większa niż zapraw z popiołem krzemionkowym i mieszaniną obydwóch popiołów.
- Zastąpienie o więcej niż 20% cementu przez popioły: krzemionkowy i wapienny lub ich mieszanki ma istotny wpływ na właściwości fizyczne kompozytów cementowych.