

Wpływ dodatku cementu glinowego do zaprawy cementowej na jej wybrane cechy fizyczne

Influence of high alumina cement addition on some physical properties of Portland cement mortar

1. Wstęp

Cement glinowy jest hydraulicznym, szybko twardniejącym spoiwem, otrzymywanym poprzez stopienie składnika bogatego w tlenek glinu (najczęściej boksytu) z kamieniem wapiennym. Cementy glinowe charakteryzują się szybkim czasem twardnienia, a betony z nich otrzymane znaczną odpornością na wysokie temperatury oraz na działanie środowisk agresywnych chemicznie. Stosowane są głównie do produkcji betonów ogniotrwałych, konstrukcji betonowych narażonych na agresję siarczanową oraz w pracach naprawczych, wykonywanych w temperaturach bliskich zera. Cement glinowy stanowi też ważny składnik wielu gotowych mieszanek, o specjalnych zastosowaniach w pracach budowlanych. W materiałach tych jest stosowany łącznie z cementem portlandzkim, między innymi w celu zwiększenia przyczepności do podłoża oraz przyspieszenia procesu twardnienia.

Mieszanie cementu portlandzkiego z glinowym jest dopuszczalne tylko w ściśle określonych proporcjach (1, 2). Także skład fazowy mieszanych cementów nie jest bez znaczenia. Przekroczenie właściwych proporcji może spowodować niekorzystne zmiany właściwości zaczynów, uzyskanych z mieszaniny tych dwóch cementów, co nie jest w pełni rozeznane przez producentów mieszanek budowlanych. Dowodem tego są dość często spotykane niekorzystne właściwości mieszanek oraz innych produktów, na przykład podłogowych mas samopoziomujących.

Celem niniejszej pracy jest zbadanie wpływu dodatku cementu glinowego do cementu portlandzkiego na właściwości zaczynu. Do badań użyto cementu GÓRKAL 40. Tlenek glinu stanowi nie mniej niż 40% jego masy, a fazą podstawową w cemencie GÓRKAL 40 jest glinian jednowapniowy (CA). Według Sawków i Zielażnej (3), cement ten ma następujące właściwości:

- szybki przyrost wytrzymałości, która po 24 godzinach przekracza 45 MPa,
- duże ciepło hydratacji, umożliwiające prowadzenie robót budowlanych w temperaturach ujemnych, nawet do -10°C ,
- duża odporność na korozję siarczanową i chlorkową,
- odporność betonu na działanie podwyższonych temperatur.

1. Introduction

High alumina cement, produced as a result of alumina rich component (usually bauxite) and limestone mixture melting, is the rapid hardening binder of hydraulic character. High alumina cements show rapid hardening; the concretes produced with them are resistant to high temperature as well as to the attack of aggressive media. Therefore these cements are mainly used in the production of refractory concrete, in concrete structures exposed to the sulfate corrosion and in repairing works at lowered temperatures, close to 0°C . High alumina cement is a substantial component of many ready mixtures used for some special applications in building works. In these materials high alumina cement is introduced together with Portland cement; this results in better adhesion to the base, as well as in acceleration of hardening.

Portland cement can be mixed with the high alumina one only at some fixed ratio (1, 2). The phase composition of cements used in blend preparation is not out of importance. Declination from the right proportion between the cements can result in disadvantageous change of paste properties; this is not fully recognized by the producers of blends; it has been proved frequently by the fact that the properties of ready mixtures and other products (e.g. mixtures for self-leveling floors) were not fairly good in practice.

The effect of high alumina cement addition on the properties of Portland cement paste was the purpose of this work. High alumina cement GÓRKAL 40 was used in the experiments. The alumina content in this cement is not lower than 40% by mass and the calcium monoaluminate (CA) is the main phase. According to Sawków and Zielażna (3), this cement exhibits the following properties:

- rapid strength development, exceeding 45 MPa after 24 hours,
- high heat of hydration, giving the possibility of application in building works at negative temperature, even up to -10°C ,
- high durability in sulfate and chloride environment,
- resistance of concrete at higher temperatures.

2. Cel i zakres badań

Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu dodatku cementu glinowego GÓRKAL 40 do cementu portlandzkiego na wybrane cechy fizyczne zaprawy cementowej. Podjęto także próbę wyznaczenia korzystnego dodatku cementu glinowego, pozwalającego uzyskać możliwie najlepszych własności mechanicznych zaprawy cementowej.

Do wykonania zapraw zastosowano cement CEM I 32,5R z cementowni „Góraźdze” oraz normowy piasek kwarcowy (według PN-EN 196-1), stosunek w/c wynosił zawsze 0,5. Wykonano następujące badania zaprawy: czas wiązania, konsystencja i plastyczność oraz wytrzymałość na zginanie i ściskanie po 1, 3, 7 i 28 dniach, pomiar skurczu w pierwszych 28 dniach dojrzewania oraz przyczepności do podłoża betonowego. Badania wykonywano na beleczkach normowych, o wymiarach 4 x 4 x 16 cm.

W wyniku przeprowadzonych badań wstępnych ustalono, że dodatek cementu glinowego do cementu portlandzkiego większy od 10%, ma bardzo niekorzystny wpływ na większość podstawowych właściwości fizycznych zaprawy. Dlatego też próbki zaprawy przygotowano z cementu portlandzkiego, do którego dodawano cement glinowy, w ilości: 2, 4, 6, 8 i 10%. Wykonano także beleczki kontrolne, bez dodatku cementu glinowego. Przez cały okres pielęgnacji próbki przechowywane były w warunkach laboratoryjnych, w temperaturze $18\pm 2^{\circ}\text{C}$, w powietrzu o wilgotności względnej większej od 90%.

3. Wyniki badań

3.1. Właściwości świeżej zaprawy

Analiza danych przedstawionych na rysunku 1 wykazuje, że dodatek cementu glinowego ma wyraźny wpływ na przyspieszenie zarówno początku jak i końca wiązania. Wpływ ten, w badanym zakresie, jest proporcjonalny do ilości dodanego cementu glinowego. Zjawisko to jest spowodowane szybkim powstawaniem uwodnionego glinianu wapniowego $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 19\text{H}_2\text{O}$ (4), co potwierdzono rentgenograficznie. Według Robsona (1) szczególnie duże skrócenie czasu wiązania ma miejsce w przypadku, gdy zawartość cementu glinowego w mieszaninie z cementem portlandzkim przekroczy 10%. Przy większej zawartości cementu glinowego, najczęściej występuje wiązanie błyskawiczne.

Przeprowadzone badania wykazały, że dziesięcioprocentowy dodatek cementu glinowego skraca bardzo znacznie czas wiązania, a mianowicie początek około trzykrotnie, a koniec o połowę. Koniec wiązania ulega już znacznemu przyspieszeniu

2. Scope and aim of investigations

The investigations aimed in the determination of the effect of high alumina cement GÓRKAL 40 addition on some physical properties of Portland cement mortar. The experiments were carried out to find the most advantageous alumina cement content, giving the best mechanical properties of mortar thus produced.

Cement CEM I 32,5R from "Góraźdze" cement plant and the standard quartz sand (according to PN-EN 196-1) were used in mortar preparation; w/c ratio was constant and equal 0.5. The following tests were done: setting time, consistence and plasticity, flex-ural and compressive strength after 1, 3, 7 and 28 days, shrinkage during the first 28 days curing and adhesion to concrete base. The standard 4 x 4 x 16 cm bars were produced for this purpose, except for the last one.

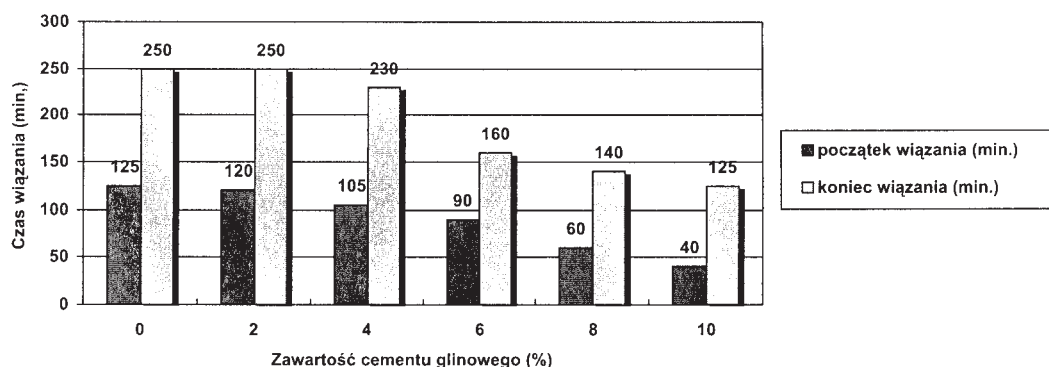
In the preliminary tests it has been found that the high alumina cement addition exceeding 10% disturbs significantly the most of basic physical properties of the mortar. Therefore the mortar samples with high alumina cement added as 2, 4, 6, 8 and 10% were produced further on. The reference samples without high alumina cement were also prepared. The samples were stored in laboratory at temperature $18\pm 2^{\circ}\text{C}$, in air at RH higher than 90%.

3. Results

3.1. Properties of fresh mortar

As one can find from the data given in Figure 1, the high alumina cement addition results in significant acceleration both initial and final setting. The change is proportional to the amount of alumina cement added. This phenomenon is the effect of quick formation of hydrated calcium aluminate $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 19\text{H}_2\text{O}$ (4), as it has been detected by XRD. According to Robson (1), a substantial setting time shortening takes place when the high alumina cement content in the mixture exceeds 10%. At higher alumina cement addition a flash setting is most frequently observed.

The results show that the addition of 10% of high alumina cement setting time is reduced markedly; initial setting time is about three times lower and the final one – a half of reference value. Final



Rys. 1. Zależność czasu wiązania (min) od zawartości cementu glinowego

Fig. 1. Setting time (initial - red; final - green) vs. high alumina cement content

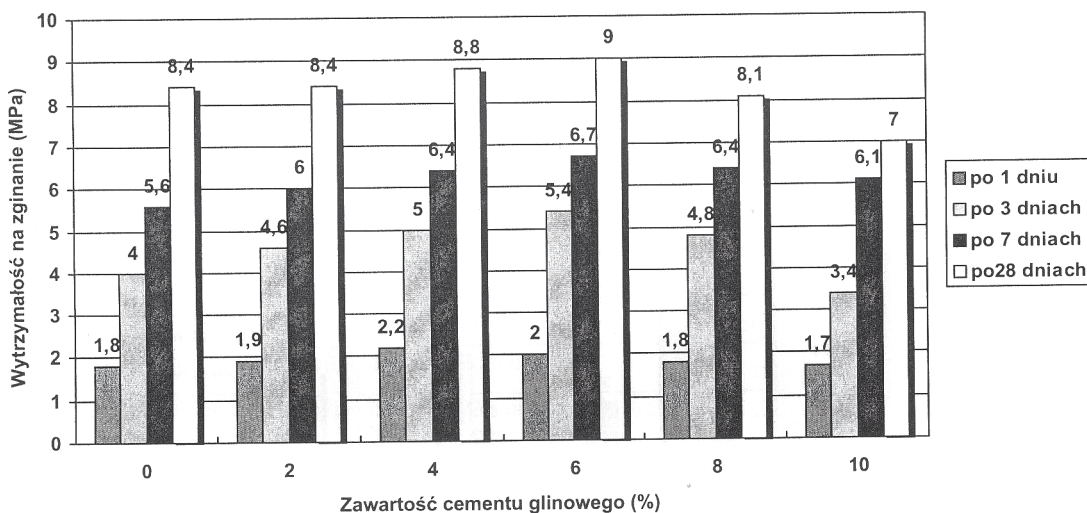
jeżeli dodatek cementu glinowego przekroczy 4% masy cementu portlandzkiego.

Pomiary konsystencji i plastyczności zapraw wykazały, że cement glinowy powoduje nieznaczne ale wyraźne pogorszenie konsystencji, proporcjonalne do jego dodatku (rysunek 2). Głębokość zanurzenia stożka pomiarowego maleje w przypadku 10% dodatku cementu glinowego o 1,7 cm, a średnica placka z zaprawy zmniejsza się o 2 cm. Wszystkie zaprawy wykonano zachowując ten sam stosunek w/c. Na uzyskane wyniki miało więc wpływ głównie szybkie powstawanie hydratów, o czym wspomniano wcześniej.

3.2. Wytrzymałość na zginanie i ściskanie

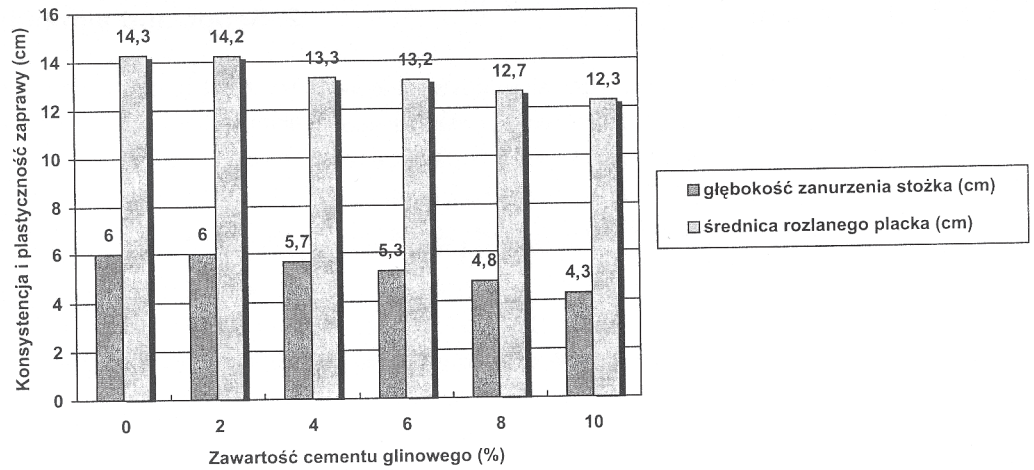
Uzyskane wyniki badań przedstawiono na rysunkach 3 i 4. Prezentowane wyniki są średnią arytmetyczną z pomiarów sześciu próbek.

Dodatek niewielkiej ilości cementu glinowego, nie przekraczający 6%, powoduje wzrost wytrzymałości na zginanie (rysunek 3). Występuje on szczególnie w pierwszym tygodniu dojrzewania zaprawy. Po 3 dniach wzrost ten wynosi 35%, a po 7 około 20%. Po 28 dniach dojrzewania wytrzymałość na zginanie beleczek z 6% dodatkiem cementu glinowego jest o 0,6 MPa (7%) większa niż zaprawy bez tego dodatku. Dodatek cementu glinowego przekraczający 6% powoduje wyraźny spadek wytrzymałości, o około 17%, w stosunku do zaprawy bez dodatku (R_z (0%cem. glin.) = 8,4 MPa, R_z (10% cem. glin.) = 7,0 MPa).



Rys. 3. Wytrzymałość na zginanie (MPa) po różnym okresie dojrzewania w zależności od zawartości cementu glinowego

Fig. 3. Flexural strength at age 1 (red), 3 (green), 7 (navy-blue) and 28 (blue) days vs. high alumina cement content



Rys. 2. Zależność głębokości zanurzenia stożka (słupki czerwone) i średnicy rozlanego placka (zielone) od procentowej zawartości cementu glinowego

Fig. 2. Depth of test cone penetration (red) and mortar cake diameter (green) as a function of high alumina cement percentage

setting is significantly accelerated just when the high alumina addition is higher than 4% by mass of Portland cement.

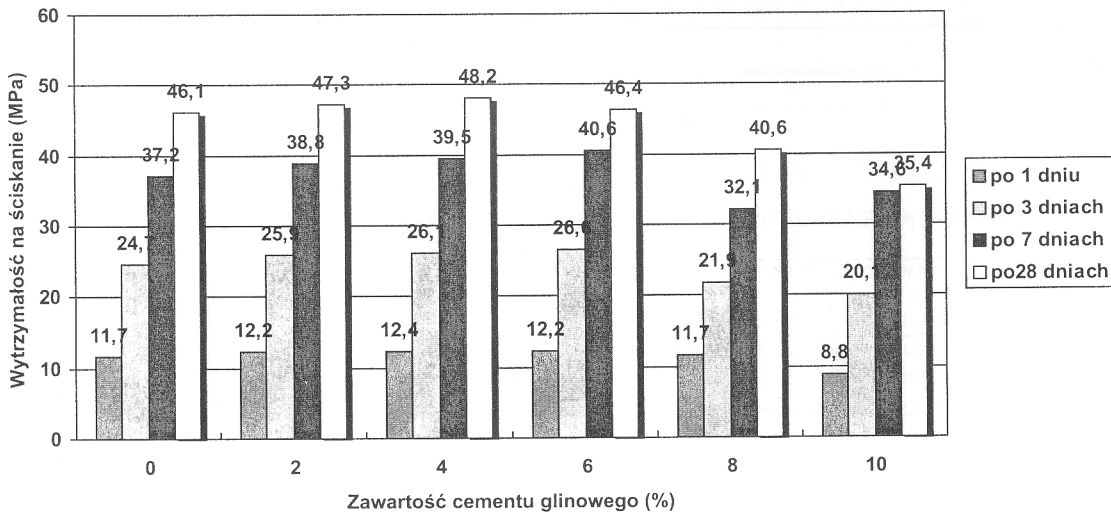
The measurements of consistence and plasticity of mortars show that the high alumina cement addition brings about some visible loss of consistence, proportional to the percentage of additive (Figure 2). The reduction of test cone penetration depth is 1,7 cm, at 10% alumina cement addition and the diameter of mortar cake is 2 cm shorter respectively. All the mortars were produced at constant w/c ratio, equal 0.5. Therefore the quick formation of hydration products, as it has been mentioned above, influenced mainly these results.

3.2. Flexural and compressive strength

The results are presented in Figures 3 and 4, as mean arithmetic values of measurements for six samples.

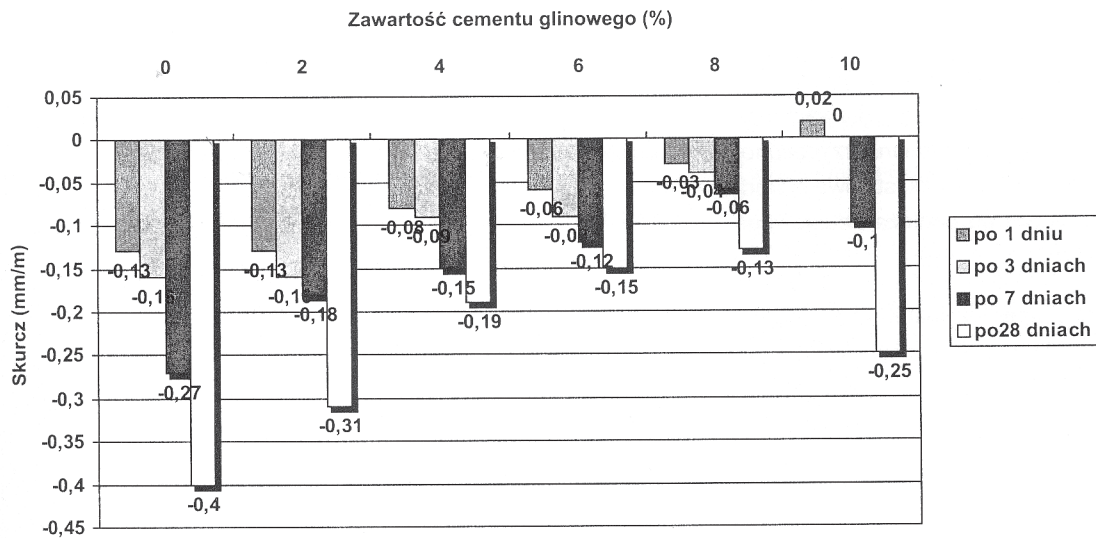
The high alumina cement addition not exceeding 6%, brings about the flexural strength increase (Figure 3). It takes place particularly

during the first week of mortar curing. After 3 days the 35% increase and after 7 days about 20% strength increase is observed. The 28 days flexural strength of the bars with 6% high alumina cement additive is 0,6 MPa (7%) higher than the value for reference sample. The high alumina cement additive exceeding 6% results in the visible strength decrease, about 17%, as compared to the value for reference mortar (R_f (0% alumina cem.) = 8,4 MPa,



Rys. 4. Wytrzymałość na ściskanie (MPa) zaprawy o różnej zawartości cementu glinowego

Fig. 4. Compressive strength at age 1 (red), 3 (green), 7 (navy-blue) and 28 (blue) days vs. high alumina cement content



Rys. 5. Skurcz zaprawy po różnym okresie dojrzewania, w zależności od zawartości cementu glinowego

Fig. 5. Shrinkage of mortar at age 1 (red), 3 (green), 7 (navy-blue) and 28 (blue) days vs. high alumina cement content

Także wytrzymałość na ściskanie badanych beleczek znacznie wzrosła, w stopniu proporcjonalnym do ilości dodanego cementu glinowego (rysunek 4). Wytrzymałość osiągnęła wartość maksymalną gdy dodatek cementu glinowego był zawarty w przedziale od 4 do 6%. W przypadku dodatku cementu glinowego wynoszącym od 6% do 10%, następuje wyraźny spadek wytrzymałości. Wytrzymałość na ściskanie zaprawy z cementu zawierającego 10% cementu glinowego, po 28 dniach dojrzewania w warunkach laboratoryjnych, jest o 12,8 MPa (około 27%) mniejsza od zaprawy z 4% dodatkiem i o 10,7 MPa (około 23%) mniejsza od wytrzymałości zaprawy bez dodatku.

3.3. Skurcz

Uzyskane wyniki, będące średnią arytmetyczną z pomiarów trzech próbek, przedstawiono na rysunku 5.

R_f (10% alumina cem.) = 7,0 MPa).

The compressive strength increase, proportionally to the high alumina cement addition, was also found (Figure 4). The maximum value was attained for the percentage of additive between 4 and 6%. For higher alumina cement content, namely 6% to 10% respectively, a visible strength decrease occurs.

After the 28 days ageing in laboratory condition, the compressive strength of the mortar with 10% high alumina cement additive is of 12,8 MPa (about 27%) lower than the value for 4% alumina cement content and of 10,7 MPa (about 23%) lower than the value for reference sample.

3.3. Shrinkage

The results, being the mean arithmetic value of measurements for three samples are shown in Figure 5.

It has been found that the shrinkage of cement mortar decreases proportionally to the percentage of high alumina cement addition. After 28 days curing the lowest shrinkage value (0,13 mm/m) is observed for the mortar with 8% high alumina cement addition. This value is three times lower than that for reference mortar. Further on, even small rise of alumina cement addition, namely to 10%, brings about the two times greater shrinkage, to the value 0,25 mm/m. However, it is still significantly lower than the shrinkage of the mortar without high alumina cement.

3.4. Adhesion to base

The results presented in Figure 6 are the mean arithmetic values of measurements for three samples.

The measurements were carried out after 28 days curing, by means of the "pull-off" type device used for this purpose, with the steel disks of 50 mm diameter. The detachment force for the mortar was measured with the accuracy of 10 N.

Przeprowadzone pomiary wykazały, że skurcz zaprawy cementowej maleje proporcjonalnie do ilości dodanego cementu glinowego. Po 28 dniach dojrzewania, najmniejszą wartość skurczu (0,13 mm/m), osiąga zaprawa z 8% dodatkiem cementu glinowego. Jest to wartość około trzykrotnie mniejsza od skurczu zaprawy nie zawierającej cementu glinowego. Jednak już niewielkie zwiększenie dodatku cementu glinowego, a mianowicie do 10%, powoduje dwukrotne zwiększenie skurczu, do wartości 0,25 mm/m. Jest on jednak znacznie mniejszy niż skurcz zaprawy nie zawierającej dodatku cementu glinowego.

3.4. Przyczepność do podłoża

Wyniki badań przedstawione na rysunku 6 są średnią arytmetyczną z pomiarów trzech próbek. Pomiary wykonano po 28 dniach dojrzewania zapraw, przy użyciu przyrządu do pomiaru przyczepności do podłoża, typu „pool-off”. Stosowano krążki stalowe o średnicy 50 mm. Siłę odrywającą zaprawy od podłoża betonowego mierzono z dokładnością do 10 N.

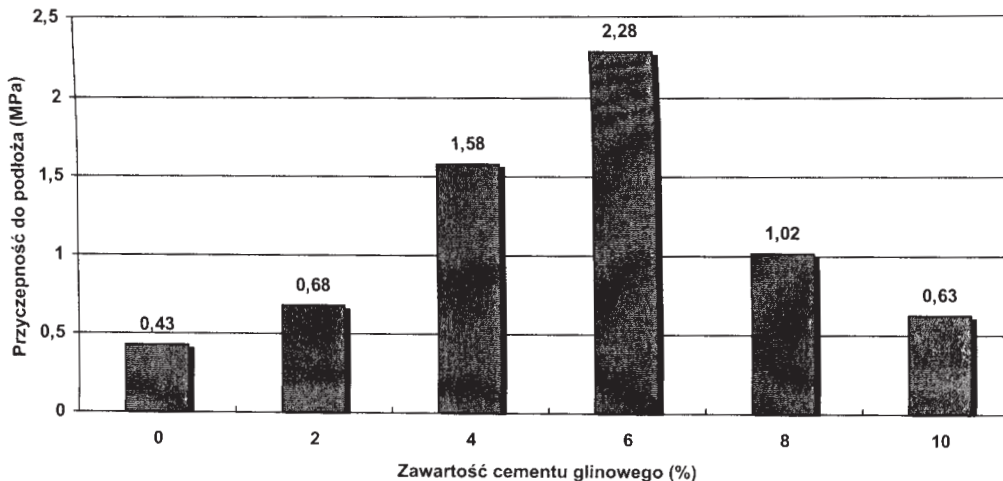
Największą wytrzymałość na odrywanie uzyskano w przypadku 6% dodatku cementu glinowego. Otrzymane wartości naprężenia odrywającego zarówno dla mniejszej jak i większej zawartości cementu glinowego w zaprawie cementowej są kilkukrotnie mniejsze.

4. Wnioski

Wyniki badań pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

- cement glinowy powoduje, proporcjonalnie do swojej zawartości w zaprawie, zmniejszenie plastyczności oraz pogorszenie konsystencji zaprawy cementowej,
- cement glinowy przyspiesza początek oraz koniec wiązania zaczynu,
- maksymalną wytrzymałość na ścislenie i zginanie osiągają zaprawy z dodatkiem cementu glinowego wynoszącym od 4 do 6%,
- minimalną wartość skurczu po 28 dniach dojrzewania wykazały zaprawy cementowe z dodatkiem od 6 do 8% cementu glinowego,
- maksymalną przyczepność do podłoża betonowego uzyskuje zaprawa cementowa z dodatkiem 6% cementu glinowego.

Podsumowując uzyskane wyniki można stwierdzić, że zaprawa cementowa wykazuje najlepsze właściwości fizyczne przy dodatku około 6% cementu glinowego GÓRKAL 40.



Rys. 6. Przyczepność zaprawy cementowej do podłoża betonowego (MPa), w zależności od dodatku cementu glinowego, po 28 dniach dojrzewania

Fig. 6. Adhesion of cement mortar to concrete base vs. high alumina cement content, after 28 days curing

The highest value of this force was found for the sample with 6% high alumina addition. The results for both lower and higher alumina cement content are many times lower.

4. Conclusions

The following conclusions can be drawn from the investigations:

- high alumina cement addition to Portland cement mortar brings about the reduction of plasticity and loss of consistency, proportionally to its percentage in the mortar,
- at the high alumina cement addition the initial and final setting of the paste is accelerated,
- the mortars with 4 to 6% high alumina cement addition exhibit the maximum flexural and compressive strength,
- the mortars with 6 to 8% high alumina cement addition have the lowest shrinkage after 28 days curing,
- the mortar with 6% high alumina cement addition presents maximum adhesion to the concrete base.

Taking into account all the results presented above one can find that the mortar with 6% high alumina cement GÓRKAL 40 addition exhibits the best physical properties.

Literatura / References

1. T. D. Robson, The characteristics and applications of mixtures of Portland and high alumina cements, Chemistry and Industry, London 1952.
2. A. M. Neville, Właściwości betonu, Wydawnictwo Polski Cement, Kraków 2000.
3. J. Sawków, A. Zielazna, Właściwości cementu Górkal 70, Cement Wapno Beton, str. 352, 2005.
4. B. F. Cottin, Hydratation des melanges silicates-aluminates de calcium, 7th ICCI, tom III, s. 5-113, Paryż 1980.