

Wpływ dodatku ekspansywnego na właściwości fizyczne wybranych cementów

Effect of expansive additive on the properties of some selected cements

1. Wprowadzenie

Cementy bezskurczowe i ekspansywne stosowane są do wytwarzania betonów w takich przypadkach, w których nie można dopuszczać do powstawania rys związanych ze skurczem zaczynów cementowych. W zasadzie cementy bezskurczowe i ekspansywne o matrycy z cementu belitowego można produkować przez ich zmielenie z dodatkiem gipsu lub anhydrytu, a o matrycy z cementu portlandzkiego z klinkieru bogatego w C_3A z dużym dodatkiem siarczanu wapnia (cement ekspansywny S). Jednak stosowane technologie opierają się głównie na mieszaniu lub wspólnym mieleniu cementu portlandzkiego z dodatkiem ekspansywnym (1).

Norma ASTM C 845-96 rozróżnia trzy rodzaje cementów ekspansywnych: K, M i S (2). Cement ekspansywny K składa się z cementu portlandzkiego z dodatkiem spieku C_4A_3S i siarczanu wapnia. Matrycę cementu ekspansywnego M stanowi także cement portlandzki, a składniki ekspansywne to siarczan wapnia i cement glinowy. Cement ekspansywny S produkowany jest z cementu portlandzkiego o zwiększonej zawartości C_3A i siarczanu wapnia. Wymieniona norma precyzuje, że ekspansja ograniczona zapraw wykonanych z cementów ekspansywnych powinna wynosić po siedmiu dniach twardnienia minimum 0,04% a maksimum 0,1%, zaś po dwudziestu ośmiu dniach twardnienia maksimum 115% ekspansji siedmiodniowej.

Rozszerzalność cementów ekspansywnych wynika z reakcji powstawania ettringitu, przy czym substratami są: glinosiarczan wapniowy lub glinian jednowapniowy, siarczan wapnia i tlenek wapnia (1). O wielkości ekspansji decyduje przebieg powstawania ettringitu, a zwłaszcza rodzaj tworzących się form krystalicznych oraz czas ich powstawania. Bardzo ważne jest to, aby reakcja ekspansywna zachodziła pomiędzy dwudziestą czwartą a siedemdziesiątą drugą godziną twardnienia zaczynu cementowego. Wcześniejsze powstawanie ettringitu nie powoduje wzrostu objętości materiału, a późniejsze, jest powodem niszczenia zaczynu (1, 3).

Obecnie, cementy ekspansywne w wielu krajach, na przykład w Japonii, USA, Niemczech i Chinach, produkowane są z cementu

1. Introduction

The shrinkage compensating and expansive cements are used in concrete production in such cases when the shrinkage cracks must be avoided. Basically, the shrinkage compensating and expansive cements may be produced on belite cement matrix, by co-grinding with gypsum or anhydrite, as well as on Portland cement matrix, using cement clinker rich in C_3A , with substantial gypsum addition (type S expansive cement). However, both technologies consist mainly in homogenization or simultaneous grinding of Portland cement with expansive additive (1).

There are three types of expansive cements, as distinguished by ASTM C 845-96 standard, namely: K, M and S (2). Type K expansive cements consists of Portland cement with C_4A_3S sinter and calcium sulfate. Type M expansive cement matrix is based upon the Portland cement with expansive components such as calcium sulfate and high-alumina cement. Type S expansive cement is produced from Portland cement with high calcium aluminate content and calcium sulfate. The standard requirements determine precisely the expansion of mortars after 7 day hardening which should be not lower than 0,04% and not higher than 0,1%, while after 28 day hardening – maximum 115% of expansion values after 7 days.

The expansion of cements is the effect of ettringite formation; calcium sulfo-aluminate or calcium aluminate, further on calcium sulfate and calcium oxide play the role of reactants (1). The scale of volume changes depends on the mechanism of ettringite formation, particularly on the type and rate of crystalline phase growth, as well as the time of their appearance. It is important to achieve the expansive reaction between the 24th and 72th hours of hardening. Early ettringite formation gives no volume increase; later on the destruction of paste takes place (1, 3).

The expansive cements are manufactured nowadays in many countries, for example in Japan, USA, Germany and China. Their production is based upon the Portland cement mixed together with expansive additives; C_4A_3S phase is their main component

portlandzkiego z dodatkami ekspansywnymi, których głównym składnikiem jest C_4A_3S (1,4). Produkcja tych dodatków jest prosta, można je otrzymać nie tylko z surowców naturalnych, ale także z surowców odpadowych. Stosując różną ilość dodatku ekspansywnego do cementu portlandzkiego można odpowiednio regulować wielkość ekspansji (3).

Dodatek ekspansywny zawierający fazę glinianu jednowapniowego został opracowany w wyniku wieloletnich badań prowadzonych w Akademii Górniczo – Hutniczej i jest przedmiotem polskiego patentu (5). Dodatek ten składa się z cementu glinowego i spieku siarczanowo – wapniowego uzyskanego przez wspólne wypalenie gipsu z odsiarczania spalin i kamienia wapiennego (6, 7, 8).

2. Opis badań i uzyskane wyniki

Do otrzymywania cementów ekspansywnych stosowano cementy portlandzkie A i B o różnych zawartościach C_3S i C_2S , w których zawartość C_3A lub C_4AF nie przekraczała 10%. Ponadto badaniami

Tablica 1 / Table 1

SKŁAD CHEMICZNY CEMENTÓW
CHEMICAL COMPOSITION OF CEMENTS

Cement	Składnik w % Component, % by mass							
	Strata praż. L.o.i.	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	MN* L.S.F.*
cement portlandzki A Portland cement A CEM I 42,5 R	0,70	64,70	1,20	20,90	5,10	2,60	3,00	0,940
Portland cement B cement portlandzki B CEM I 42,5 N	1,08	64,95	1,44	21,7	5,03	3,01	1,13	0,930
cement mostowy C bridge cement C	0,70	64,70	0,62	21,30	4,10	5,00	2,40	0,925
cement wiertniczy D oil-well cement D	0,90	63,80	0,90	21,50	4,10	4,90	2,40	0,907

* MN – moduł nasycenia wapnem obliczony z wzoru Kinda.

* L.S.F. – lime saturation factor calculated following Kind's formula.

Tablica 2 / Table 2

SKŁAD FAZOWY CEMENTÓW OBLICZONY WZOREM BOGUE'A
PHASE COMPOSITION OF CEMENTS CALCULATED FOLLOWING
BOGUE'S EQUATIONS

Cement	Składniki w % Components, % by mass			
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
cement portlandzki A Portland cement A	67	10	9	8
cement portlandzki B Portland cement B	60	17	7	9
cement mostowy C bridge cement C	59	16	2	15
cement wiertniczy D oil-well cement D	55	20	3	15

(1, 4). The production of expansive agents is simple; they can be prepared not only from natural raw materials but also from wastes and by – products. One can control the expansion by changing the percentage of expansive additive to Portland cement (3).

The expansive additive based on the calcium monoaluminate phase was synthesized as a result of many years lasting experiments in the laboratory of the University of Science and Technology – AGH (Polish patent (5)). This additive is composed of high alumina-cement and sulfate – lime sinter, produced by heating of flue gas desulphurization and limestone mixture (6, 7, 8).

2. Experimental and results

Two Portland cements denoted as A and B differing with C_3S and C_2S content, in which the C_3A or C_4AF percentage did not exceed 10% were used in experiments. Further on the sulfate resistant cement, so-called bridge cement and oil-well cement, denoted as C and D were also taken into account; they exhibit low C_3A and high C_4AF content. Chemical composition of cements is given in Table 1, in Table 2 – phase composition, in Tables 3 and 4 – physical properties and strength characteristics.

Subsequently the cements with 7% and 12% by mass of expansive additive were prepared. The additive was produced as a mixture of the following components: 28% by mass of high-alumina cement of 60% Al_2O_3 and 72% by mass of sulfate – lime sinter burnt at temperature 1150°C (6, 7). The free linear expansion test was performed with help of Graf Kaufmann device; the physical properties of cements with additives were

also determined. The results are presented in Tables 5 – 10. The linear expansion vs. time is plotted in Figs 1 and 2.

The XRD studies of cements and cement pastes after 1, 3, 7 and 28 day hydration were carried out. In Fig. 3 the XRD plots of the paste produced from cement with 12% expansive additive after 1, 3, 7 and 28 day hydration are shown.

3. Discussion

The studies aimed in the determination of expansive additive on physical properties of cements differing with phase composition and specific surface. Portland cements A and B differ only with silicate content. In cement A the alite content is about 7% higher, while in cement B – belite content is about 7% higher. On the

objęto również cementy: mostowy i wiertniczy, oznaczone C i D, posiadające małą zawartość C_3A i dużą C_4AF . W tablicy 1 podano skład chemiczny, a w tablicy 2 skład fazowy, natomiast w tablicach 3 i 4 odpowiednio własności fizyczne oraz wytrzymałość tych cementów.

Przygotowano cementy zawierające 7% i 12% masowych dodatku ekspansywnego. Dodatek uzyskano przez zmieszanie 28% masowych cementu glinowego o zawartości 60% Al_2O_3 , oraz 72% masowych spieku siarczanowo-wapniowego prażonego w temperaturze 1150°C (6, 7). Zmierzono swobodną ekspansję liniową w aparacie Graf Kaufmanna oraz zbadano właściwości fizyczne cementów z dodatkami ekspansywnymi. Wyniki badań przedstawiono w tablicach 5–10. Na rysunkach 1 i 2 pokazano przebieg swobodnej ekspansji liniowej w czasie hydratacji tych cementów.

Zdjęto rentgenogramy cementów z dodatkami ekspansywnymi oraz ich zaczynów po 1, 3, 7 i 28 dniach hydratacji. Na rysunku 3 pokazano wycinki dyfraktogramów rentgenowskich zaczynu z cementu A z 12% mas. dodatku ekspansywnego po 1, 3, 7 i 28 dniach hydratacji.

3. Omówienie wyników

Celem badań było określenie wpływu dodatku ekspansywnego na własności fizyczne cementów o różnym składzie fazowym oraz o różnej powierzchni właściwej. Stosowane cementy portlandzkie A i B różnią się tylko zawartością krzemianów. W cemencie A jest więcej o 7% alitu, a w cemencie B o 7% belitu. Natomiast cementy C i D zawierają bardzo mało glinianu trójwapniowego, odpowiednio

Tablica 5 / Table 5

SWOBODNA EKSPANSJA LINIOWA CEMENTÓW Z 7% DODATKU EKSPANSYWNEGO ZMIERZONA METODĄ GRAF KAUFMANN
FREE LINEAR EXPANSION OF CEMENTS WITH 7% EXPANSIVE ADITIVE, AS MEASURED BY GRAF KAUFMANN METHOD

Cement	Swobodna ekspansja liniowa po dniach, mm/m Free linear expansion after age, in days, mm/m					
	1	3	7	14	28	90
Cement A	0,724	0,901	0,940	0,940	0,934	1,000
Cement B	0,410	0,445	0,470	0,450	0,362	0,318
Cement C	0,403	0,490	0,615	0,646	0,621	0,512
Cement D	3,215	3,424	3,553	3,540	3,462	3,256

Tablica 3 / Table 3

CZASY WIĄZANIA I POWIERZCHNIA CEMENTÓW
SETTING TIME AND SPECIFIC SURFACE OF CEMENTS

Cement	Początek wiązania Initial setting time	Koniec wiązania Final setting time	Powierzchnia właściwa, cm ² / g Specific surface cm ² / g
cement portlandzki A Portland cement A	3h 15'	4h 30'	3380
cement portlandzki B Portland cement B	0h 50'	2h 00'	2920
cement mostowy C bridge cement C	2h 50'	4h 35'	2830
cement wiertniczy D oil-well cement D	6h 45'	7h 40'	1990

Tablica 4 / Table 4

WYTRZYMAŁOŚĆ CEMENTÓW NA ŚCISKANIE I ZGINANIE
COMPRESSIVE AND FLEXURAL STRENGTH OF CEMENTS

Cement	Wytrzymałość na ściskanie po dniach, MPa Compressive strength at age, MPa				Wytrzymałość na zginanie po dniach, MPa Flexural strength at age, MPa			
	1	3	7	28	1	3	7	28
cement portlandzki A Portland cement A	25,48	43,53	46,85	57,33	4,62	6,54	6,80	7,40
cement portlandzki B Portland cement B	7,94	21,76	30,97	55,80	1,70	3,57	5,11	6,19
cement mostowy C bridge cement C	9,41	33,16	42,82	55,17	1,83	5,10	6,94	7,72
cement wiertniczy D oil-well cement D	3,92	15,92	26,46	41,26	0,98	3,58	5,74	6,25

Tablica 6 / Table 6

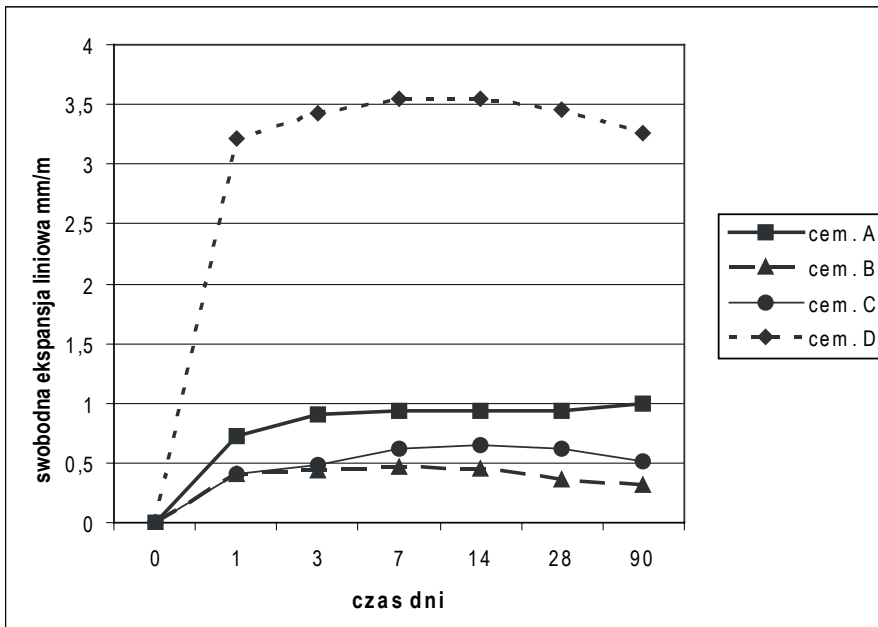
SWOBODNA EKSPANSJA LINIOWA CEMENTÓW Z 12% DODATKU EKSPANSYWNEGO ZMIERZONA METODĄ GRAF KAUFMANN
FREE LINEAR EXPANSION OF CEMENTS WITH 12% EXPANSIVE ADITIVE, AS MEASURED BY GRAF KAUFMANN METHOD

Cement	Swobodna ekspansja liniowa po dniach, mm/m Free linear expansion after age, in days, mm/m					
	1	3	7	14	28	90
Cement A	0,737	1,946	4,481	5,110	5,193	5,150
Cement B	0,890	1,643	2,209	2,271	2,278	2,287
Cement C	1,565	3,389	5,002	8,144	14,970	27,237
Cement D	12,274	21,850	26,875	34,375	x)	

x) po 18 dniach przechowywania beleczki rozpadły się

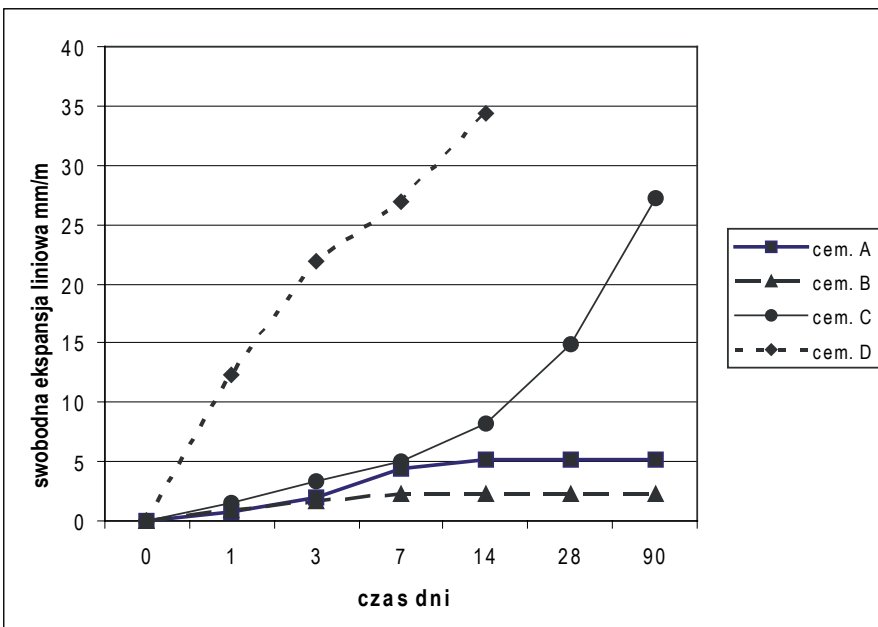
x) after 18 days the bars collapsed

other hand cement C and D have little tricalcium aluminate – 2 and 3% respectively, at 15% C_4AF content. Furthermore, cement D shows the lowest lime saturation factor and specific surface. The highest specific surface is attributed to cement A. The type of calcium sulfate component is different in cements used; calcium sulfate dihydrate occurs in cements A and B; in cements C and D



Rys. 1. Swobodna ekspansja liniowa cementów z 7% dodatku ekspansywnego

Fig. 1. Free linear expansion of cements with 7% expansive additive



Rys. 2. Swobodna ekspansja liniowa cementów z 12% dodatku ekspansywnego

Fig. 2. Free linear expansion of cements with 12% expansive additive

2 i 3% i po 15% C_4AF . Ponadto cement D ma najmniejszy moduł wysycenia wapnem i najniższą powierzchnię właściwą. Natomiast najwyższą powierzchnię właściwą ma cement A. Stosowane cementy różnią się rodzajem siarczanu wapniowego. Z analizy rentgenowskiej wynika, że cementy A i B zawierają dwuwodny siarczan wapnia, a cementy C i D anhydryt. Cementy portlandzkie A i B oraz cement mostowy C mają zbliżone czasy wiązania, natomiast cement portlandzki B ma, z uwagi na niższą zawartość SO_3 , znacznie krótszy początek wiązania, a cement wiertniczy D wyróżnia się dłuższym początkiem wiązania.

W związku z tym, że cementy ekspansywne nie są objęte ani normami polskimi, ani europejskimi, właściwości cementów z dodatkami ekspansywnymi oceniano w oparciu o normę ASTM C 845-96

– anhydrite, as it has been found by XRD. Portland cements A and B as well bridge cement C show similar setting time, while Portland cement B reveals, because of low SO_3 , very short initial setting time; in turn the oil-well cement D differs from the former ones with prolonged initial setting.

Because the expansive cements are neither the object of Polish nor European standards, their properties were examined following the ASTM C 845-96 standard (2). The approved linear expansion values are given in this standard. They relate to the limited expansion at it results from the construction of measuring device. Therefore the limited expansion values were determined to be in accordance with the standard as mentioned above. It was estimated basing on literature data (9) by reduction of free expansion about one order of magnitude. From the expansion values thus calculated, as well as the physical parameters of mortars discussed in view of ASTM requirements, one can find that the cements with 7% expansive additive have shrinkage compensating or poorly expansive character. The expansion increase is observed up to 7 day hardening. Later on it slightly reduces, except of cement A. The highest expansion is found in case of cement D, its initial and final setting time is significantly shortened in the presence of expansive additive. On the other side, Portland cement B with this additive shows prolonged setting. Setting time of other cements is practically unchanged.

The effect of expansive additive on strength of mortars is different. The strength of cement D with 7% expansive additive is lower than the strength of reference sample throughout all the time of test. On the other hand, cement C with additive reveals higher strength after 1 day but

Tablica 7 / Table 7

WŁAŚCIWOŚCI ZACZYNÓW Z CEMENTÓW ZAWIERAJĄCYCH 7% DODATKU EKSPANSYWNEGO

PROPERTIES OF CEMENT PASTES WITH 7% EXPANSIVE ADDITIVE

Cement	Właściwa ilość wody w zaczynie, % Standard water content, %	Początek wiązania Initial setting time	Koniec wiązania Final setting time
Cement A	28,3	2h 55'	4h 55'
Cement B	27,0	3h 35'	4h 55'
Cement C	22,6	2h 45'	4h 00'
Cement D	23,3	2h 25'	5h 10'

Tablica 8 / Table 8

WŁAŚCIWOŚCI ZACZYŃNÓW Z CEMENTÓW ZAWIERAJĄCYCH 12% DODATKU EKSPANSYWNEGO

PROPERTIES OF CEMENT PASTES WITH 7% EXPANSIVE ADDITIVE

Cement	Właściwa ilość wody w zaczynie, % Standard water content, %	Początek wiązania Initial setting time	Koniec wiązania Final setting time
Cement A	29,7	2h 25'	4h 05'
Cement B	27,0	1h 40'	3h 05'
Cement C	23,8	1h 25'	3h 20'
Cement D	22,3	2h 15'	4h 05'

(2). Określa ona wielkość ekspansji liniowej, którą powinny wykazywać cementy ekspansywne. W normie tej podana jest wielkość ekspansji ograniczonej, co wynika z zastosowania specjalnej aparatury. W związku z tym oszacowano w oparciu o dane literaturowe (9) ekspansję ograniczoną, zmniejszając zmierzoną ekspansję swobodną o jeden rząd wielkości. Na podstawie tak oszacowanej ekspansji oraz porównania oznaczonych własności fizycznych badanych zapraw z wymaganiami normy ASTM stwierdzić można, że cementy z 7% dodatkiem ekspansywnym są cementami bezskurczowymi, względnie słabo ekspansywnymi. Ekspansja

tych cementów wzrasta do siódmego dnia twardnienia zaprawy. W późniejszym okresie ulega ona niewielkiemu zmniejszeniu, z wyjątkiem cementu A. Największą ekspansję osiągnął cement D. Dodatek ekspansywny miał znaczny wpływ na czas wiązania cementu D; obserwuje się znaczne skrócenie początku i końca wiązania. Natomiast cement portlandzki B z tym samym dodatkiem ekspansywnym ma wydłużony początek i koniec wiązania. Pozostałe cementy wykazują stosunkowo niewielką zmianę czasu wiązania.

Wpływ dodatku ekspansywnego na wytrzymałość badanych zapraw nie jest również jednakowy. Wytrzymałość cementu D z 7% mas. dodatkiem ekspansywnym jest mniejsza niż wytrzymałość wyjściowego cementu po wszystkich

it falls down after 7 and 28 day curing. Strength of Portland cement A is lower up to 7 day hardening and after this time it becomes higher than for reference mortar. Cements A, B and C exhibit their assumed class after 28 day hardening, only cement D shows lower 28 day strength. In all cases the 90 day strength is higher than the 28 day strength value.

It has been found that only the Portland cement A with 12% additive can be classified as an expansive one, in the light of ASTM standard; as one takes into account the expansion, setting time and strength parameters. The limited linear expansion after 7 day hardening is higher than 0,04% and lower than 0,1%; after 28 day hardening it does not exceed 115% of expansion value after 7 days. The initial setting time is after 75 minutes from the processing with water; compressive strength is significantly higher than 14,7 MPa after 7 days and 24,5 MPa after 28 days and grows up within the 90 day curing. Portland cement B with 12% expansive additive is, in opinion of authors, poorly expansive. Cements C and D show continuous, significant growth of expansion with time. Cement C reveals, after 28 days, the expansion being as high as 299% of 7 day value that is many times higher than the values from ASTM; its strength systematically falls down. Cement D is very expansive at early age; the expansion markedly increases with time and therefore the destruction of bars after 18 day hardening is observed.

As it results from XRD studies on the pastes with 7% and 12% expansive additive, the intensities of ettringite peaks are not

Tablica 9 / Table 9

WYTRZYMAŁOŚĆ NA ŚCISKANIE I ZGINANIE CEMENTÓW Z 7% DODATKU EKSPANSYWNEGO
COMPRESSIVE AND FLEXURAL STRENGTH OF CEMENTS WITH 7% EXPANSIVE ADDITIVE

Cement	Wytrzymałość na ściskanie po dniach, MPa Compressive strength at age, MPa					Wytrzymałość na zginanie po dniach, MPa Flexural strength at age, MPa				
	1	3	7	28	90	1	3	7	28	90
Cement A	12,28	33,32	42,27	60,63	70,89	2,49	4,43	5,26	7,88	10,89
Cement B	5,75	27,64	32,08	49,59	54,36	1,49	4,11	6,14	8,59	9,37
Cement C	10,78	29,40	35,41	52,59	70,04	2,01	4,14	4,56	6,30	9,65
Cement D	2,74	14,44	17,70	28,55	51,55	0,00	0,00	2,57	4,00	7,91

Tablica 10 / Table 10

WYTRZYMAŁOŚĆ NA ŚCISKANIE I ZGINANIE CEMENTÓW Z 12% DODATKU EKSPANSYWNEGO
COMPRESSIVE AND FLEXURAL STRENGTH OF CEMENTS WITH 12% EXPANSIVE ADDITIVE

Cement	Wytrzymałość na ściskanie po dniach, MPa Compressive strength at age, MPa					Wytrzymałość na zginanie po dniach, MPa Flexural strength at age, MPa				
	1	3	7	28	90	1	3	7	28	90
Cement A	29,16	41,95	41,16	59,19	88,46	4,50	4,70	4,13	6,30	11,90
Cement B	13,09	26,72	34,5	50,11	60,56	2,74	3,55	4,53	6,76	9,20
Cement C	12,84	22,93	25,51	32,14	36,75	2,22	3,04	3,75	3,78	4,25
Cement D	4,90	8,76	8,92	x)		1,18	3,60	3,62	x)	

x) po 18 dniach przechowywania beleczki rozpadły się.

x) after 18 days the bars collapsed.

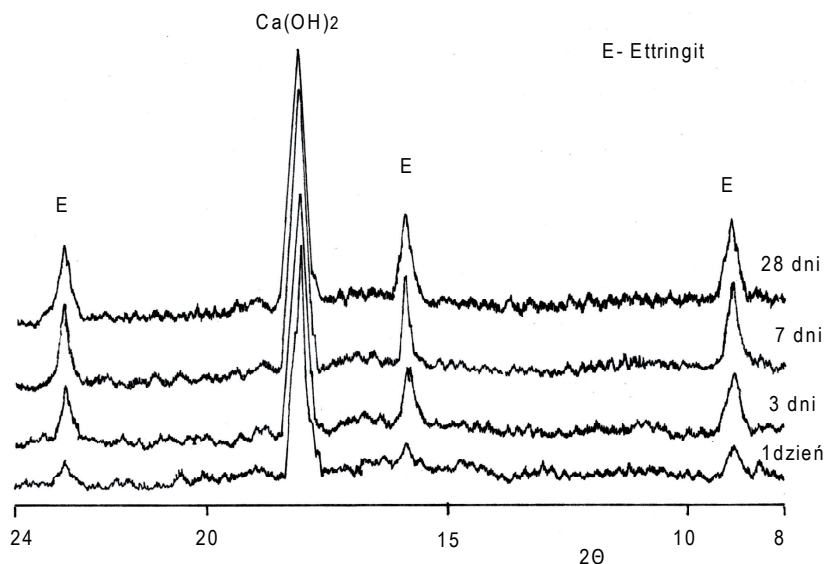
okresach pomiarowych. Natomiast cement C z dodatkiem ekspansywnym ma wyjątkowo większą wytrzymałość po 1 dniu, natomiast duży jej spadek następuje po 7 i 28 dniach twardnienia. Wytrzymałość cementu portlandzkiego A jest mniejsza do siódmego dnia twardnienia, a następnie większa, w porównaniu z cementem wyjściowym. Cementy A, B i C zachowały swoją klasę wytrzymałości po 28 dniach twardnienia, natomiast cement D ma małą wytrzymałość po 28 dniach. Wszystkie cementy po 90 dniach twardnienia mają wyższe wytrzymałości od wytrzymałości dwudziestoosmiodniowych.

Wyniki badań wykazały, że tylko cement portlandzki A z 12% dodatkiem jest cementem ekspansywnym spełniającym wymagania normy amerykańskiej ASTM, zarówno z punktu widzenia ekspansji, czasu wiązania, jak i wytrzymałości. Ekspansja liniowa ograniczona po 7 dniach twardnienia jest wyższa od 0,04% a niższa od 0,1% i po 28 dniach nie przekracza 115% ekspansji siedmiodniowej. Początek wiązania następuje po 75 minutach, a wytrzymałość na ściskanie jest znacznie większa od 14,7 MPa po 7 dniach i 24,5 MPa po 28 dniach oraz wzrasta aż do 90 dni twardnienia. Cement portlandzki B z 12% dodatkiem ekspansywnym jest zdatnym autorem cementem słabo ekspansywnym. Cementy C i D charakteryzują się systematycznym i znacznym wzrostem ekspansji w czasie. Cement C po 28 dniach ma ekspansję wynoszącą aż ok. 299% jego ekspansji siedmiodniowej, co wielokrotnie przekracza ograniczenia wynikające z normy amerykańskiej, a jego wytrzymałość systematycznie spada. Cement D ma bardzo dużą początkową ekspansję, która znacznie wzrasta w czasie, w wyniku czego po 18 dniach twardnienia beleczki z zaprawy ulegają destrukcji.

Z badań rentgenowskich zaczynów cementów z dodatkiem ekspansywnym w ilości 7% i 12% mas. wynika, że intensywności maksimum dyfrakcyjnych ettringitu nie pokrywają się z wielkościami ekspansji tych cementów. Najwyższe intensywności refleksów ettringitu mają zaczyny z cementu A. Natomiast na rentgenogramach zaczynów z cementów C i D obserwuje się nieco słabsze piki ettringitu, pomimo wyraźnie większej ekspansji tych cementów w porównaniu z cementem A.

4. Wnioski

1. Cement portlandzki A, odpowiadający cementowi CEM I klasy 42,5 R, z 12% mas. dodatkiem ekspansywnym jest cementem ekspansywnym i spełnia wymagania normy ASTM C 845-96.
2. Zmniejszenie ilości dodatku ekspansywnego do cementu portlandzkiego A obniża wielkość ekspansji i pozwala na otrzymanie cementu słabo ekspansywnego, względnie bezskurczowego.
3. Dodatek ekspansywny do cementu portlandzkiego B odpowiadającego cementowi CEM I 42,5 N pozwala na uzyskanie cementu bezskurczowego, względnie słabo ekspansywnego.



Rys. 3. Wycinki dyfraktogramów rentgenowskich zaczynu cementu A z 12% dodatku ekspansywnego po hydratacji

Fig. 3. XRD patterns of pastes from cement A with 12% expansive additive in the range $8 \pm 24^\circ 2\theta$ CuK α .

compatible with the expansion data. The highest ettringite peaks are visible on XRD patterns of pastes from cement A. On XRD patterns of pastes produced from cements C and D the lower ettringite peaks are found, in spite of significantly higher expansion, as compared to cement A.

4. Conclusions

1. Portland cement A, corresponding to CEM I 42,5 R meets the ASTM C 845-96 standard requirements for expansive cement when mixed with 12% (by mass) expansive additive.
2. The reduction of expansive additive amount to cement A reduces expansion and results in the production of poorly expansive or shrinkage compensating cement.
3. Portland cement B, corresponding to CEM I 42,5 N, when mixed with expansive additive, gives shrinkage compensating or poorly expansive cement.
4. Bridge cement C and oil-well cement D, with high C_4AF content, when mixed with 7% expansive additive gives shrinkage compensating or poorly expansive cement. The rise of expansive additive up to 12% (by mass) brings about a significant expansion increase with time and, in case of bridge cement – substantial reduction of strength, in case of oil-well cement – total destruction.

Literatura / References

1. W. Kurdowski, Chemia Cementu, s. 415, PWN, Warszawa 1991.
2. ASTM C 845 – 96, Standard specification for expansive hydraulic cement.
3. Special cements, Denki Kagaku Kogo K.K, Tokio, 1990.
4. Z. Konik, A. Stok, A. Malinowski, G. W. M. van Wijk, Sposób otrzymywania spieku glino – siarczano – wapniowego. Polski Pat. 183042, (2001).

4. Cementy: mostowy C i wiertniczy D, o dużej zawartości C_4AF , z 7% dodatkiem ekspansywnym są cementami bezskurczowymi względnie słabo ekspansywnymi. Zwiększenie dodatku ekspansywnego do 12% masowych powoduje znaczny wzrost ekspansji w czasie oraz znaczne zmniejszenie wytrzymałości w przypadku cementu mostowego i destrukcję w przypadku cementu wiertniczego.

5. A. Stok, Z. Konik, W. Kurdowski, J. Małolepszy, Sposób otrzymywania mieszanki ekspansywnej. Polski Pat. 187378, (2004).

6. W. Roszczynialski, Z. Konik, J. Małolepszy, A. Stok, Ceramika, vol. 91,2, (2005).

7. W. Roszczynialski, Z. Konik, J. Małolepszy, A. Stok, Cement Wapno Beton, 1, 177, (2006).

8. A. Stok, Z. Konik, J. Małolepszy, W. Roszczynialski, Sposób otrzymywania dodatków do cementu. Polskie Zgłoszenie Patentowe P-374629, (2005).

9. Y. Fu, P. Xie, P. Gu, J.J. Beaudoin, Cem. Concr. Res., 24, 2, 267, (1994).

Podziękowanie

Badania finansowane przez Komitet Badań Naukowych w ramach grantu nr 4 T08D 007 25.

Warunki prenumeraty na 2007 r.

Wpłaty na prenumeratę można dokonywać na ogólnie dostępnych blankietach w Urzędach Pocztowych (przekazy pieniężne) lub Bankach (polecenie przelewu), przekazując środki na adres: „Cement-Wapno-Beton” Spółka z o.o. 30-003 Kraków, ul. Lubelska 29.

Konto: PKO BP S.A. I O/Kraków nr 21 1020 2892 0000 5102 0018 6171

Na blankiecie wpłaty należy czytelnie podać nazwę zamawianego czasopisma, liczbę zamawianych egzemplarzy, okres prenumeraty oraz własny adres.

„Cement-Wapno-Beton” – dwumiesięcznik

Cena 1 egz. – 30 zł,

Cena 1 egz. – 10 \$

Prenumerata roczna – 180 zł

Prenumerata roczna – 60 \$

Zamówienia na prenumeratę można przysyłać bezpośrednio na e-mail lub faxem do redakcji podając numer NIP-u.

Ogłoszenia przyjmuje: „Cement-Wapno-Beton” Sp. z o.o., ul. Lubelska 29, 30-003 Kraków, tel./fax: +48 12 632 29 95.

Adres do korespondencji: ul. Lubelska 29, 30-003 Kraków

e-mail: cwb@polskicement.com.pl

Redakcja nie bierze odpowiedzialności za treść publikowanych ogłoszeń