

Znaczenie technologii przemiału w rozwoju wytrzymałości cementu hutniczego CEM III/A

The importance of grinding technology in the strength development of blastfurnace cement CEM III/A

1. Wprowadzenie

Produkcja cementu hutniczego ma duże znaczenie z szeregu powodów, przede wszystkim jednak ze względu na ograniczenie emisji CO₂, która jest mniej więcej o połowę mniejsza. Jednak pewną niedogodnością związaną z tym cementem jest jego mniejsza wytrzymałość po jednym dniu hydratacji, a także normowa po 2 dniach. Natomiast po 28 dniach twardnienia wytrzymałość cementu CEM III/A jest już bardzo zbliżona do CEM I, tej samej klasy.

Remedium na kłopoty z wytrzymałością jest stopień rozdrobnienia cementu, przy czym dotyczy on obu głównych jego składników, to znaczy i żużla i klinkieru. Numata i in. (1) zbadali wpływ bardzo drobno zmielonego żużla na wytrzymałość normowej zaprawy z cementu, po 3, 7 i 28 dniach twardnienia. Wyniki pokazano w tabelicy 1. Stosowany był przemysłowy „zwykły” cement portlandzki z 50% dodatkiem tego żużla. Stosowano żużel o dwóch stopniach rozdrobnienia: zwykłym o powierzchni wynoszącej 400 m²/kg

1. Introduction

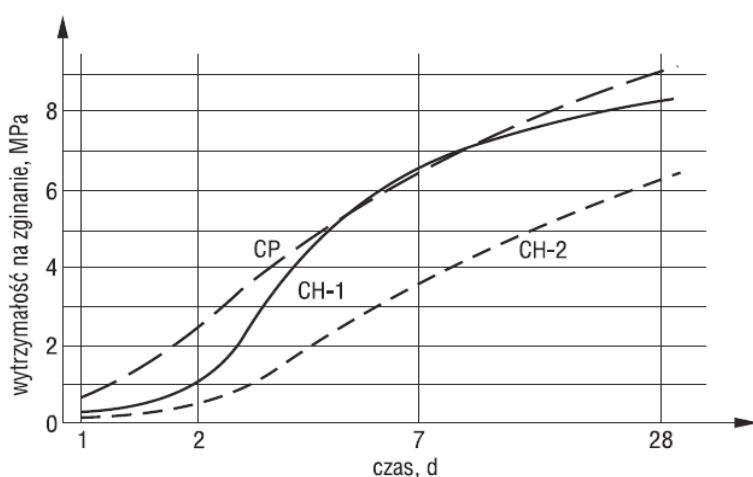
The production of blastfurnace cement has a high importance from several reasons, however, chiefly on the CO₂ emission, which is about half lower. However some drawback of blastfurnace cement is the lower strength after one day of hardening, and also the standard strength after 2 days. However, the strength of CEM III/A cement after 28 days of hardening is approximate to the CEM I, of the same class.

The remedy for strength troubles is the fineness of cement, however, it is concerning both main constituents of cement i.e. clinker and slag. Numata et al. (1) studied the influence of very fine ground slag on the strength of standard cement mortar after 3, 7 and 28 days of hardening. The results are shown in Table 1. As blastfurnace cement it was used the mixture of ordinary Portland cement with 50% of slag ground to two specific surface areas: 400 m²/kg and high fineness equal to 850 m²/kg, according to Blaine.

As the results in Table 1 is showing the strength of blastfurnace cement was increasing of 100%. The older works are showing similar dependence from which the results of Regourd (2) deserve to be remind [Fig. 1].

Long time ago cement CEM III/A was produced in industry in cogrinding of slag and clinker in the mills working in open circuit. Slag with high glass content has low grindability and it was remaining in coarse fraction. Thus the clinker fraction with higher fineness was assuring the cement strength after 2 days and even after 7 days, particularly because its hydration was additionally accelerated by the higher w/c ratio caused by the slow slag reaction with water. This is commonly known as the temporary effect of dilution and simultaneously the slag grains will decrease the distance between particles in the paste which will accelerate the bonds formation with the hydrates (3).

The results obtained by Numata et al. (1) [Table 1] are showing that finely ground slag can increase the strength also after 3 days. These authors (1) did not examined the



Rys. 1. Wytrzymałość na zginanie zaprawy z cementu hutniczego, w którym rozdrobnienie żużla wynosiło 350 m²/kg [CH-2] i 630 m²/kg [CH-1] w porównaniu z cementem portlandzkim [CP] (2)

Fig. 1. Tensile strength of the slag cement mortar, in which slag specific surface area was 350 m²/kg [CH-2] and 630 m²/kg [CH-1], in comparison with Portland cement [CP] (2)

i drobno zmielonym o powierzchni wynoszącej 850 m²/kg, obie według Blaine'a. Widać, że wytrzymałość tego cementu hutniczego wzrosła o 100%. Starsze badania pokazują podobne zależności, z których wyniki Regourd (2) zasługują na przypomnienie [rysunek 1].

Dawniej w warunkach przemysłowych cement CEM III/A produkowano przez wspólny przemiał żużla z klinkierem, w młynach pracujących w obiegu otwartym. W związku z tym, że szklisty żużel ma dużą twardość a małą mielność występował on zawsze w grubszej frakcji. Zatem frakcja klinkierowa drobniej zmielona zapewniała wytrzymałość cementu po 2 dniach, zwłaszcza że jej hydratacja była dodatkowo przyspieszona przez większy stosunek w/c, spowodowany wolniejszą reakcją ziaren żużla z wodą. Był to popularnie nazywany efekt rozcieńczenia, równocześnie jednak ziarna żużla będą zmniejszały odległość pomiędzy cząstkami w zaczynie co przyspieszy tworzenie połączeń z hydratami (3).

Uzyskane przez Numata i in. (1) wyniki [tablica 1] pokazują także, że bardzo drobno zmielony żużel powoduje również zwiększenie wytrzymałości po 3 dniach. W związku z tym, że autorzy (1) nie badali stopnia hydratacji żużla nie można odrzucić przypuszczalnego wpływu żużla jako twardego mikro-wypełniacza, zmniejszającego porowatość zaprawy. Jednak zawartość wodorotlenku wapnia uległa także pewnemu zmniejszeniu (1). Jest to szczególnie widoczne w przypadku drobno zmielonego żużla i już przy jego dodatku wynoszący 40% wynosi około 1,7% po 7 dniach oraz około 2,5% po 28 dniach. Przy większym dodatku [50%] nie ulega on już zmianie i po 28 dniach zmniejszenie wynosi około 2,2%. Mniejszy stopień rozdrobnienia ma duży wpływ i Ca(OH)₂ ulega zmianie tylko o około 0,4% po 7 dniach i o 0,8% po 28 dniach, przy dodatku żużla wynoszącym 40%. Musi to znaleźć odbicie w wytrzymałości, która będzie mniejsza przy tym rozdrobnieniu żużla, z powodu mniejszej zawartości fazy C-S-H. Znajduje to pełne potwierdzenie w wynikach zawartych w tablicy 1, a wytrzymałość wynosi mniej niż o 21,8 MPa po 7 dniach i o 28,5 MPa po 28 dniach, przy 50% dodatku. Jest to równocześnie dowód, że reakcja pozołanowa ma duży wpływ na wytrzymałość, co wynika ze zwiększenia fazy C-S-H. Podobne wyniki, zwłaszcza w odniesieniu do czasu hydratacji uzyskali także Regourd i in. (4) [rysunek 2].

Longo i Torrent (5) badali wpływ oddzielnego i wspólnego mielenia żużla i klinkieru na wytrzymałość zapraw, a także betonów. W obu technologiach mielenia utrzymywano w przybliżeniu takie samo rozdrobnienie klinkieru i żużla. Taka metoda spowodowała, że wytrzymałość zapraw z osobno lub wspólnie mielonych składników cementu była taka sama, w granicach błędu przyjętego na poziomie 5%. W przypadkach, w których wystąpiły większe różnice utrzymywała się następująca zależność: wspólne mielenie dawało lepsze wyniki we wczesnym okresie, a oddzielne po dłuższym czasie twardnienia. Autorzy tego artykułu nie mogą się oprzeć

Tablica 1 / Table 1

WYTRZYMAŁOŚĆ ZAPRAW Z CEMENTU Z RÓŻNYM DODATKIEM ŻUŻLA O RÓŻNYM ROZDROBNIENIU I Z DODATKIEM NAPOWIETRZAJĄCYM (1)

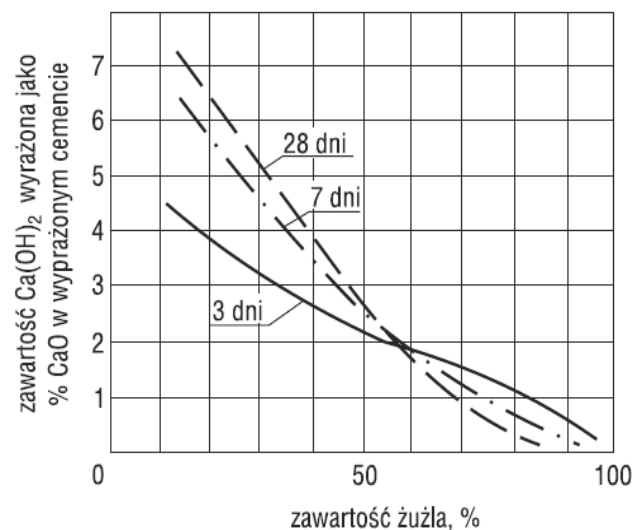
HIGH STRENGTH ASTM MORTAR OF OPC-SLAG BLENDS USING HRWA* (1)

Type of blends	Slag content %	W/(C+GS)	Flow %	Cube strength, MPa		
				3d.	7d.	28d.
OPC-UGS	50	0.32	57	55.1	76.3	97.3
	70		63	54.0	72.3	101.4
OPC-CGS	50		74	40.5	54.5	68.8
	70		76	32.4	44.3	66.1
OPC (Control)	0		70	51.3	66.4	77.4

*Remark: HRWA – air entraining admixture melamine based produced in Japan

*Przypis: HRWA – domieszka napowietrzająca oparta na melaminie produkowana w Japonii

degree of slag hydration then the probably influence of slag as the hard filler, decreasing the porosity of cement mortar, cannot be excluded. However, the calcium hydroxide content was also decreasing (1), proving the pozzolanic reaction. It is visible particularly in the case of fine ground slag and already with its addition of 40% this decrease of Ca(OH)₂ was about 1.7% after 7 days and about 2.5% after 28 days. In the case of the higher slag addition, namely 50%, this effect is not changing and after 28 days is equal to about 2.2%. The lower slag fineness has the high influence and in this case the content of Ca(OH)₂ is lower of only 0.4% after 7 days and of 0.8% after 28 days for 50% addition. It should found the effect in strength, which will be also lower at this slag fineness because of the lower C-S-H phase content. It is fully confirmed by results shown in Table 1, as the strength after 7 days is lower as much as of 21.8 MPa and after 28 days of 28.5 MPa, in the case of 50% of slag addition. It is also a proof that the pozzolanic reaction has a very high influence on strength, which is linked with C-S-H content increase, as it was aforementioned. Similar results, particularly in relation of hydration time, was shown also by Regourd et al. (4) [Fig. 2].



Rys. 2. Zawartość Ca(OH)₂ w zaczynie z cementu hutniczego (4)

Fig. 2. Ca(OH)₂ content in the paste of slag cement (4)

Table 2 / Tablica 2

COMPRESSIVE STRENGTH OF CEMENTS CEM I 32.5R AND 42.5R AS WELL AS CEM III/A 32.5N, 42.5N
WYTRZYMAŁOŚĆ KILKU CEMENTÓW CEM I 32,5R I 42,5 R ORAZ CEM III/A 32,5N ORAZ 42,5N

Cement	Wytrzymałość na ściskanie, MPa po dniach Compressive strength, MPa after days			Powierzchnia właściwa- Specific surface area m ² /kg
	2	7	28	
1) CEM I 32,5R*	23,7		49,2	360
2) CEM III/A 32,5N*		19,2	39,9	400
3) CEM III/A 32,5N		19,7	37,4	440
4) CEM III/A 32,5N		23,1	54,8	410
5) CEM I 42,5R*	29,1		62	380
6) CEM III/A 42,5N	16,6		59,1	440

*Przypis: nie produkuje się cementów CEM I 32,5N i CEM I 42,5N oraz CEM III/A 32,5R i CEM III/A 42,5R

* Postscript: CEM I 32.5N , CEM I 42.5N, CEM III/A 32.5R and CEM III/A 42.5R are not produced in Poland

przypuszczeniu, że wspólne mielenie dawało większy stopień rozdrobnienia klinkieru.

Wyniki z badań różnych cementów przemysłowych, z których kilka podano w tablicy 2 dotyczą cementów portlandzkich dwóch klas CEM I 32,5R i 42,5 R, a także cementów hutniczych dwóch klas CEM III/A 32,5N oraz 42,5N. Niestety porównanie właściwości tych cementów jest utrudnione bowiem cementy CEM I nie wytwarza się w tych klasach jako normalnie twardniejące, a cementy hutnicze jako szybko twardniejące. Niemniej jednak można wyciągnąć pewne wnioski ogólne, które są następujące: widać dużą różnicę w stopniach rozdrobnienia, które muszą być znacznie większe w przypadku cementów hutniczych. Zwraca także uwagę korzystny wpływ osobnego mielenia klinkieru i żużła, co pozwala przy takim samej mianości uzyskać wyższą klasę cementu [cementy 4 i 6], a także o większej wytrzymałości o 3 MPa po 7 dniach, a po 28 dniach o 17 MPa.

2. Zbadanie wpływu technologii mielenia na właściwości cementu CEM III/A

Przeprowadzono badania cementów CEM III/A 42,5 N, które wyprodukowano w różnych zakładach, stosując trzy technologie:

- wspólny przemiał wszystkich składników w układzie maszynowym – ciśnieniowa kruszarka walcowa, o wymiarach walców 170 x 140 cm w obiegu zamkniętym z separatorem KHD, po czym produktem z separatora zasila się młyn dwukomorowy o wymiarach 4,6 x 14 m, pracujący w obiegu otwartym,
- osobny przemiał żużła w jednokomorowym młynie 5 x 15 m, z komorą suszenia, a klinkieru z anhydrytem w dwukomorowy młynie o wymiarach 5 x 14 m; pierwszy jednokomorowy młyn o wymiarach 5 x 15 m służy do przemiału granulowanego żużła. Oba młyny pracują z separatorami Sepax firmy FLS, a następnie oba składniki cementu hutniczego są mieszane w mieszalniku jednowałowym firmy IBAU (5),
- wspólny przemiał wszystkich składników w młynie dwukomorowym o wymiarach 4,6 x 14 m, z separatorem O-SEPA firmy FLS.

Longo and Torrent (5) were studied the separate and common grinding effect on the strength of mortars and concretes. In both grinding technologies almost the same fineness of clinker and slag was obtained. This method was causing that the strength of mortars from separately or commonly ground cement constituents was the same, in the range of error assumed on 5% level. In the cases in which the higher differences were appeared the following relation was maintained: the better results of common grinding in early period were found, however, for the

separate grinding higher results after longer hardening period were appearing. The author of this paper cannot turn down the supposition that the common grinding the higher fineness of clinker was assuring.

The results of different industrial cement examination, from which the selected results are given in Table 2, the Portland cements of two classes CEM I 32.5R and 42.5R and also two classes of slag cements CEM III/A 32.5N and 42.5N are concerning. Unfortunately, the comparison of the properties of these cements is difficult because the Portland cements CEM I are produced in Poland only as rapid hardening and the slag cements only as normal cements. However, some general conclusions can be drawn: there are a great differences in fineness which are much higher for slag cement. The separate grinding of clinker and slag is advantageous which gives the possibility to produce higher cement class for the same fineness [cements 4 and 6], and also of higher strength of 3 MPa after 7 days and of 17 MPa after 28 days.

2. The influence of grinding technology on the strength of cement CEM III/A

The three cements CEM III/A 42,5 N produced in different plants, which were applying three technology of grinding were examined, as follows:

- the common grinding of all cement components in the system: high-pressure grinding rolls –two-chambers ball mill. The roller press, with rolls diameters of 170x140 cm, is working in closed circuit with the KHD separator and with the crushed material the two-chambers ball mill of 4.6x14 m dimensions working in open-circuit was feeded.
- separate grinding of slag in one-chamber ball mill 5x15 m, with drying chamber and clinker in two-chambers ball mill 5x14 m, together with setting regulator. Both mills are working in closed circuit with Sepax separators of FLS. The ground cement components are homogenized in one-shaft mixer of IBAU (5).

Table 3 / Tablica 3

THE GRAIN SIZE DISTRIBUTION OF MATERIAL AFTER ROLLER PRESS
ROZDROBNIENIE CEMENTU PO KRUSZARCE WALCOWEJ

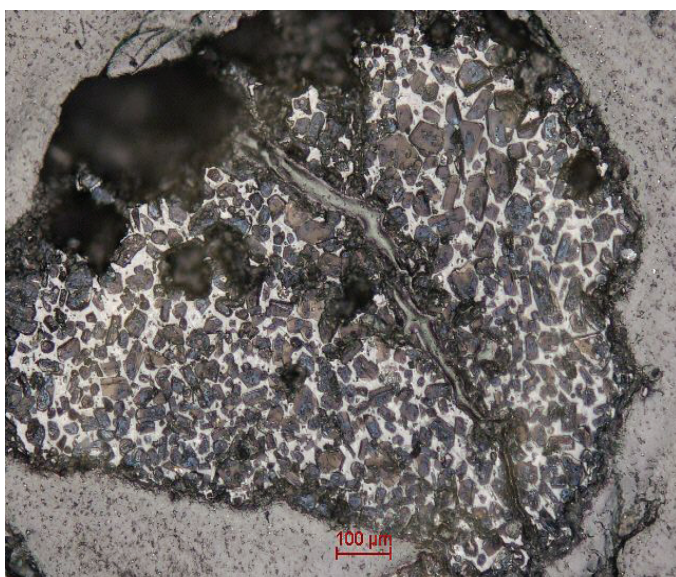
Sito, mm	Pozostałość, %	Sito, mm	Pozostałość, %
0,040	92,1	0,500	46,7
0,063	87,8	1,00	31,7
0,100	81,9	1,60	25,4
0,200	69,0	2,00	22,6
0,315	58,2	5,00	12,4

Zużycie energii w poszczególnych technologiach mielenia było następujące: technologia a) 55 kWh/t, technologia b) – 67 kWh/t, technologia c) – 62 kWh/t

Badania właściwości cementów wyprodukowanych z zastosowaniem tych trzech technologii mielenia badano zgodnie z normami: powierzchnia – PN-EN 196-3, wytrzymałość – PN-EN 196-1, czas wiązania PN-EN 196-3 [tablica 4]. Zawartość żużla w poszczególnych cementach, oznaczona zgodnie z normą PN-B 19707 załącznik B metodą mikroskopową, była następująca: a) 58%, b) 54%, c) 54,5%.

2.1. Wyniki

Stopień wstępnego rozdrobnienia cementu po walcowej kruszarce ciśnieniowej podano w tablicy 3. Duże ziarna klinkieru zawierały pęknięcia [rysunek 3], które nie prowadziły do rozpadu w trakcie ich oddzielania w separatorze w obiegu zamkniętym kruszarki; jednak nie ulega wątpliwości, że w młynie będą ulegały szybkiemu rozpadowi, zmniejszając zużycie energii. Z tych względów zużycie energii jest najmniejsze w tej technologii. Natomiast technologia b) osobnego mielenia żużla i klinkieru, a następnie jego mieszania ma stosunkowo duże zużycie energii, jednak umożliwia ona produkcję cementu CEM III/B 42,5, a nawet cementu CEM III/A 52,5N.



Rys. 3. Duże ziarno klinkieru w „cement” po kruszarce walcowej

Fig. 3. Big clinker grain in „cement” after roller press

c) common grinding of all cement components in two-chambers ball mill of 4.6x14 m dimensions working in closed circuit with Sepax separator of FLS.

The energy consumption in these grinding technologies were the following:

technology a) – 55 kWh/t, technology b) – 67 kWh/t, technology c) – 62 kWh/t.

The properties of produced cements were examined according to the standards: specific surface – PN-EN 196-3, strength – 196-1, setting time PN-EN 196-3 [Table 4].

The content of slag in particular cements, determined by microscopic method according to PN-B 19707, annex B, was the following: cement a) 58%, cement b) 54%, cement c) 54.5%.

In Table 4 the phase composition of clinkers from which cements were produced, determined by Rietveld method are given.

2.1. Results

In the case of grinding technology a) the fineness of material after high-pressure grinding rolls was checked out and the results are presented in Table 3. The big grains of clinker contained the cracks [Fig. 3], which, however, did not caused their disintegration in the separator in closed circuit of roller press, but there is no doubt that they will disintegrate quickly in the ball mill, decreasing the energy consumption. For this reason the grinding technology a) has the lowest energy consumption. However, the technology b) with the separate grinding of clinker and slag and finally their mixing has the relatively high energy consumption, but it gives the possibility of the production of different cement kinds, CEM III/B 42,5N and even cement CEM III/A 52.5N.

The results of cements properties examination are given in Table 5. From these results the interesting conclusion can be drawn: the common grinding of slag and clinker [cement c] is assuring a slightly higher strength than the separate milling of clinker and slag and their mixing [cement b]. However, it must be remembered that clinker used for production of cement c has much higher alite content, which will have the decisive influence on cement strength till 28 days. It rather should be declared that the common grinding of slag and clinker in the ball mill working in the closed circuit is

Tablica 4 / Table 4

SKŁAD FAZOWY KLINKIERÓW

PHASE COMPOSITION OF CLINKER

Faza/ Phase	Clinker a) and b), %	Clinker c), %
C ₃ S	67	70
C ₂ S	12	13
C ₃ A	12	6
C ₄ AF	9	10
CaO _{free}	1.20	1.30

Uzyskane wyniki [tablica 4] prowadzą do interesującego wniosku: wspólny przemiał w młynie z separatorem [cement c] zapewnia nawet nieznacznie lepszą wytrzymałość niż osobny przemiał klinkieru i żużla oraz jego zmieszanie [cement b]. Do wniosku tego trzeba jednak podchodzić z zaznaczeniem, że o ile żużel był ten sam to klinkierzy były różne [tablica 4] i miały w związku z tym różną wytrzymałość. Klinkier z którego otrzymano cement c) miał znacznie większą zawartość alitu, który jak wiadomo ma decydujący wpływ na wytrzymałość cementu do 28 dni twardnienia. Ponadto trzeba pamiętać, że w technologii c) młyn był wyposażony w nowoczesny separator Osepa z rotorem łopatkowym. A więc wspólny przemiał w młynie pracującym w obiegu zamkniętym zapewnia podobną wytrzymałość do oddzielnego przemiału w dwóch młynach i mieszania.

Natomiast zastosowanie kruszarki walcowej w układzie prowadzi do ważnego wniosku, wskazującego na wyraźnie większą wytrzymałość cementu a), pomimo większej zawartości żużla. Nieznacznie większa powierzchnia nie ma w tym przypadku wpływu, bowiem zwiększyła równocześnie wodoodporność, a więc stosunek w/c.

Analiza krzywych rozkładu ziarnowego, otrzymanych za pomocą lasera, stwarza możliwość dokładniejszego porównania trzech cementów. Krzywe, które pokazano na rysunkach 4a – 4c wykazują, że rozkład ziarnowy trzech cementów jest bardzo zbliżony, a różnice są nieznaczne. Najlepszy skład ziarnowy ma cement a) zmielony w układzie dwumaszynowym kruszarka walcowa i młyn kulowy. Ten cement ma największą zawartość frakcji mniejszej od 32 μm , nieco większej od 99%. W dwóch pozostałych cementach udział tej frakcji wynosi odpowiednio 91% w przypadku cementu b) i 87% w cementie c). Ta frakcja ma duże znaczenie technologiczne gdyż ulega całkowitej hydratacji do 28 dni hydratacji (6).

Aby uzyskać więcej informacji o składzie ziarnowym drobnych frakcji trzech cementów hutniczych, uzyskanych za pomocą różnych technologii mielenia zbadano rozkład ziarnowy frakcji mniejszej od 30 μm i w przedziale uziarnienia od 30 μm do 150 μm . Przykładowe wyniki, dotyczące cementu c), pokazano na rysunkach 5a i 5b, a wykorzystano je przede wszystkim do oszacowania zawartości frakcji mniejszej od 10 μm .

W przypadku wszystkich trzech cementów są one bardzo zbliżone; udziały frakcji mniejszej od 10 μm są następujące:

- cement a) frakcja < 10 μm – 48%,
- cement b) frakcja < 10 μm – 45%,
- cement c) frakcja < 10 μm – 44%.

Można podkreślić, że największa zawartość frakcji mniejszej od 10 μm w cementie a) odpowiada wyraźnie większej wytrzymałości po 28 dniach [tablica 4].

Table 4 / Tablica 4

PROPERTIES OF CEMENTS CEM III/A 42,5 N

WŁAŚCIWOŚCI CEMENTÓW CEM III/A 42,5 N

Właściwości	Cement a	Cement b	Cement c
w/c	0,52	0,50	0,50
Początek wiązania / Setting time, Min.	185	230	245
Pozostałość na sicie / Residue on sieve, 32 μm , %	0,8	8,9	12,8
Wytrzymałość na ściskanie / Compressive strength			
po 2 dniach / after 2 days, MPa	15,5	13,3	14,7
po 28 dniach / after 28 days, MPa	60,7	52,3	53,0
Powierzchnia właściwa / Specific surface area, m^2/kg	450	430	400
SO_3 , %	2,35	2,68	2,23

assuring the similar strength that separate milling of cement components and their mixing. It should be underlined that in the closed circuit of technology c) the Osepa classifier, with the plate rotor, with regulated speed, was used. However, the use of roller press in the grinding system assure the much higher strength of cement a) , independently of higher slag content. Slightly higher specific surface area of cement a) has rather very low influence on strength because of simultaneous higher water demand of this cement.

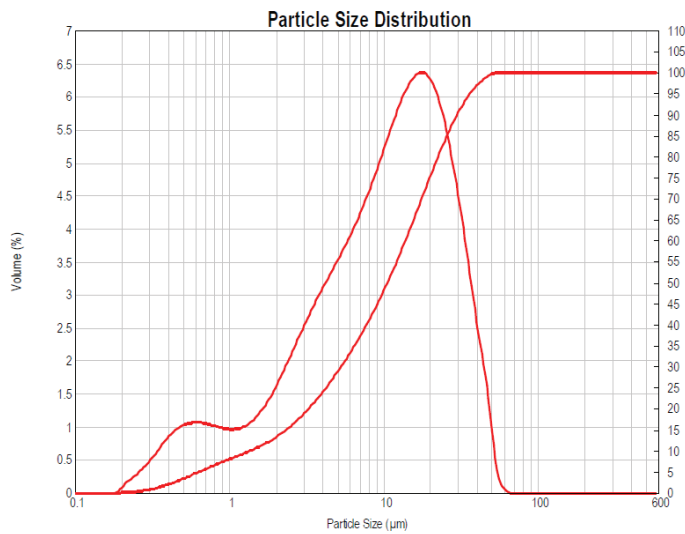
The analysis of particles size distribution curves, obtained with laser analyser, gives the possibility to the more exactly comparison of three cements. The curves, which are presented in the Figs. 4a – 4c, are showing that the particles size distribution of three cements are very similar and the differences are very low. The best particle size distribution has cement a), produced in the system roller press and ball mill. This cement has the highest content of the fraction under 32 μm , slightly above 99%. In the remaining cements it is 91% in the case of cement b) and about 87% of cement c) respectively. This fraction is particularly important technologically and it has the decisive influence on cement strength, because it is completely hydrated till 28 days of hardening (6).

To have more information about the grains composition of fine fractions of three cements, produced with different grinding technology, the particles size distribution of the fractions under 30 μm and fraction in the range from 30 μm to 150 μm were examined. The examples of these curves for cement c) are presented in Figs. 5a and 5b and on their basis the content of the fraction under 10 μm was assessed. The content of this fraction in three cements is very similar, as follows:

- cement a) fraction < 10 μm = 48%,
- cement b) fraction < 10 μm = 45%,
- cement c) fraction < 10 μm = 44%.

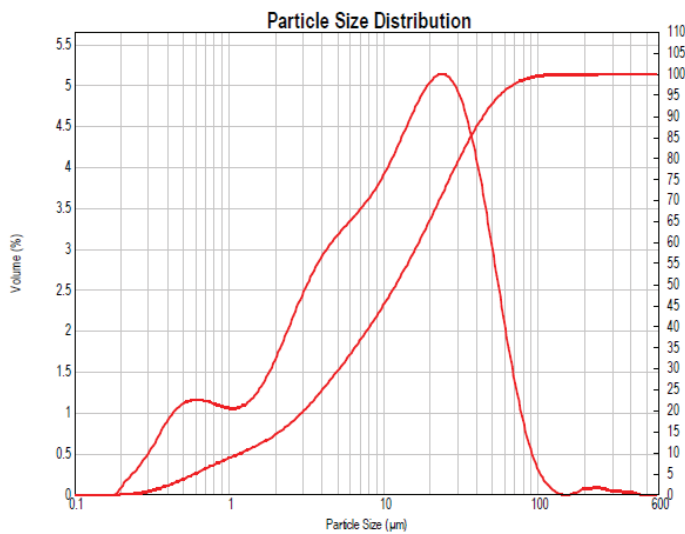
It can be underlined that the highest share of fraction < 10 μm in cement a) present a good correlation with the highest strength after 28 days of hardening [Table 4].

The differences in the curves of the fraction over 30 μm are much lower and the modal values are the same in the case of cements



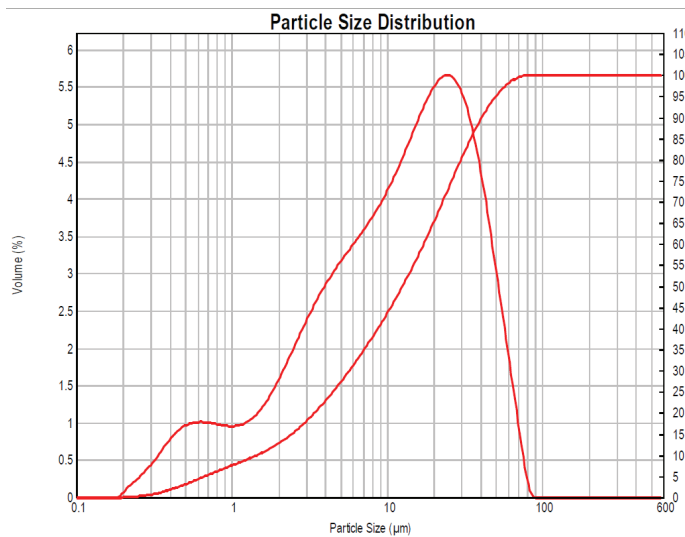
Rys. 4a. Krzywa rozkładu ziarnowego cementu a), moda około 18 µm

Fig. 4a. Particle size distribution of cement a)



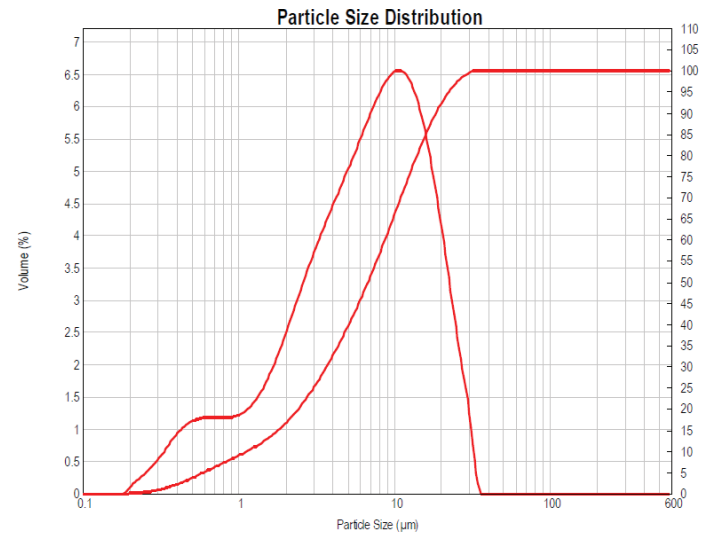
Rys. 4b. Krzywa rozkładu ziarnowego cementu b), moda 25 µm

Fig. 4b. Particle size distribution of cement b), modal value 25 µm



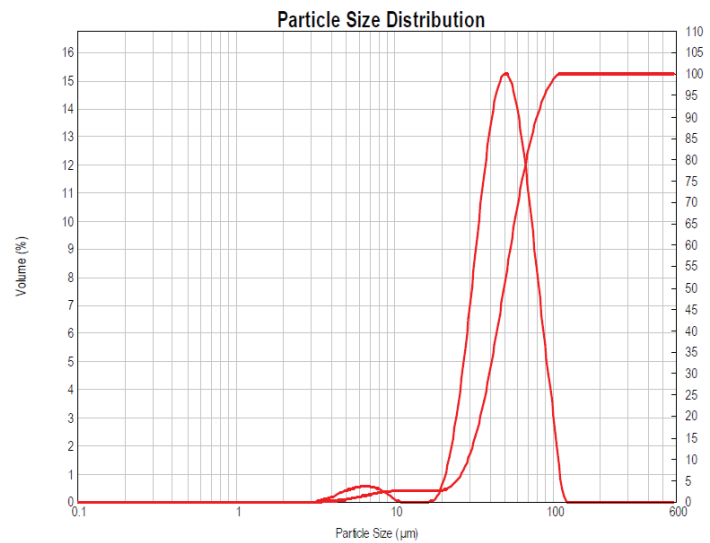
Rys. 4c. Krzywa rozkładu ziarnowego cementu c), moda 25 µm

Fig. 4c. Particle size distribution of cement c), modal value 25 µm



Rys. 5a. Cement c), rozkład ziarnowy frakcji mniejszej od 30 µm, moda około 11 µm.

Fig. 5a. Cement c), Particle size distribution of the fraction under 30 µm. Modal value 11 µm.



Rys. 5b. Cement c), rozkład ziarnowy frakcji większej od 30 µm, moda 50 µm

Fig. 5b. Particle size distribution of the fraction under 30 µm. Modal value 11 µm

b) and c) equal 50 µm and only cement a) has the modal value a little lower equal 45 µm.

It remains for explaining the low difference in the particles distribution of cement c), which was ground in two – compartment ball mill, working in closed circuit. It is without doubt that the old opinion about the worse fineness of slag in blastfurnace cements produced in two-compartments ball mill working in the closed circuit is no longer valid. The closed circuit was introduced in cement industry relatively long ago, in the seventies. However, only in the second half of eighties the modern circulating separators were applied for cement milling (7). These separators are equipped in plate rotors, which are assuring the good dispersion of material. These classifiers are giving complete different Tromp's curve in comparison

Różnice w przebiegu krzywych pokazujących rozkład ziarnowy frakcji większej od 30 μm są zdecydowanie mniejsze, a mody są takie same w przypadku cementów b) i c), tylko cement a) ma modę wynoszącą 45 μm .

Do wyjaśnienia pozostaje niewielka różnica w składzie ziarnowym cementu c) mielonego w młynie dwukomorowym, w obiegu zamkniętym. Nie ulega wątpliwości, że stara opinia o złym rozdrobieniu cementu hutniczego mielonego w młynie dwukomorowym w obiegu zamkniętym nie jest już aktualna. Obieg zamknięty został wprowadzony stosunkowo dawno, w latach siedemdziesiątych, jednak dopiero w drugiej połowie lat osiemdziesiątych wprowadzono nowoczesne separatory (7-9). Są one wyposażone w wirniki łopatkowe, z regulowaną prędkością obrotową. Dają one zupełnie inną krzywą Trompa [rysunek 6], gdyż zupełnie zmieniają rozdrobienie cementu zmielonego w młynie pracującym w obiegu zamkniętym z takim separatorem.

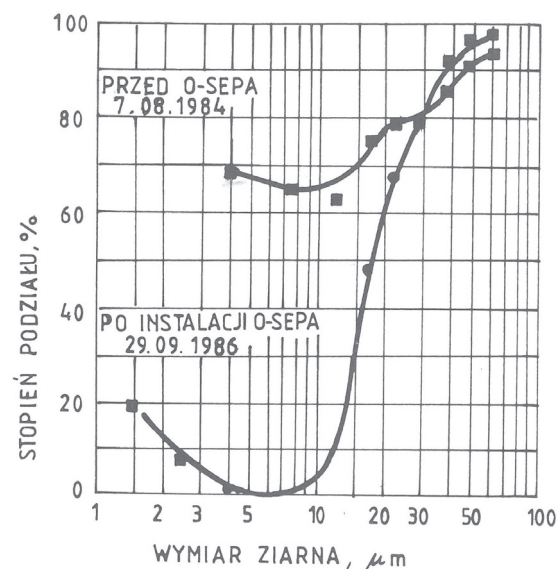
3. Wnioski

Uzyskane wyniki pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

1. Cement CEM III/A 42,5 N, zawierający żużel o dobrym rozdrobieniu można uzyskać w klasycznym młynie dwukomorowym pracującym w układzie zamkniętym z nowoczesnym separatorem ,
2. Praca młyna kulowego w układzie z ciśnieniową kruszarką walcową pracującą w układzie zamkniętym zapewnia najlepszą wytrzymałość cementu po 28 dniach,
3. Jest to spowodowane największym udziałem frakcji mniejszej od 10 μm w cemencie produkowanym w tym układzie mielącym.

Literatura / References

1. Numata S., Koide Y., Shimobayashi S., "Properties of Ultra-Highly Pulverised Granulated Blast Furnace Slag-Portland Cement Blends", Flay Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Proceedings, Second International Conference, Madrid, Spain 1986, vol. 2, p. 1341, ed. V.M. Malhotra, American Concrete Institute, Detroit, 1986.
2. Regourd M., 7th ICCO Paris, t.I, s. III-2/9.
3. Science and Technology of Admixtures, ed. By P-C Aitcin and R.J. Flatt, Elsevier 2016.
4. Regourd M., Hornain H., Mortureux B., Silicates Ind. **42**, 19-27 (1977).
5. Longo A. and Torrent R.J., Flay Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Proceedings, Second International Conference, Madrid, Spain 1986, vol. 2, p. 1381, ed. V.M. Malhotra, American Concrete Institute, Detroit, 1986.
5. Myrdko L., Wojnarowski A., Cement Wapno Beton, **68**, 225 (2001).
6. Locher F.W. "Cement principles of production and use", Düsseldorf 2006.
7. F. L. Smidth, Cement Wapno Gips, **59**, 110 (1992).
8. Folsberg J., Cement Wapno Gips, **59**, 18 (1992).
9. Burgan J.M., Zement-Kalk-Gips, **41**, 350 (1988).



Rys. 6. Krzywe Trompa uzyskane dla tego samego młyna przed i po wprowadzeniu nowoczesnego separatora O-SEPA (7)

Fig. 6. Tromp's curves for cement ground in the same ball mill after application of modern separator O-SEPA (7)

with the old one [Fig. 6]. Application of the modern separators are assuring completely different fineness of ground cement.

3. Conclusions

The results of comparison of three cements CEM III/A produced with different grinding technologies are giving the following conclusions:

1. Blastfurnace cement CEM III/A 42.5N, containing the appropriate fineness of slag, can be produced in ball mill working in closed circuit with the modern circulating classifier,
2. Grinding blastfurnace cement in the system: roller press working in closed circuit and ball mill working in open circuit is assuring the best strength after 28 days of hardening,
3. It is caused by the highest share of fraction under 10 μm in cement produced in this graining system.