

Pył krzemionkowy do betonu – norma EN 13263

Stosowanie pyłu krzemionkowego w betonach wysokowartościowych od lat jest przyjęte w praktyce. Literatura przedmiotu jest bardzo bogata. Szczególnie często stosuje się dodatek pyłu krzemionkowego w celu otrzymania betonu wysokiej wytrzymałości. W tej sytuacji dawał się odczuć brak normy na pył krzemionkowy.

Uzgodnienia wymagań takiej normy, a przede wszystkim procedura harmonizacji z Mandatem Komisji Europejskiej trwały bardzo długo. Po ponad 10-letnim okresie prac prowadzonych przez TC 104 „Beton i materiały pokrewne” w ramach Europejskiego Komitetu Normalizacyjnego, a pod przewodnictwem Norwegii, norma została ustanowiona w czerwcu 2005 r. w ramach grupy roboczej brał udział przedstawiciel ITB. Norma jest dwuczęściowym, zharmonizowanym dokumentem: EN 13263 – 1 „Pył krzemionkowy – definicje, wymagania i kryteria zgodności”
EN 13263 – 2 „Pył krzemionkowy – ocena zgodności”
Jako normy polskie zostają one uznane we wrześniu 2005 r., a w polskiej wersji językowej będą opracowane i ustanowione w normalnym trybie w 2006 r.

Przydatność pyłu krzemionkowego do produkcji betonu

Pył krzemionkowy składa się z kulistych granulek amorficznego dwutlenku krzemu, o wymiarach nieprzekraczających 10-4 cm. Jest on produktem ubocznym przy produkcji stopów żelazo-krzemowych i posiada silne właściwości puculanowe. Może być stosowany w formie pierwotnej, taki jaki jest wychwytywany w filtrach, albo zagęszczony odpowiednimi zabiegami, albo w postaci pasty. Zwykle dokonuje się mieszania pyłów odbieranych w różnych miejscach zakładu (piec, filtry, zbiorniki magazynowe).

Pył krzemionkowy pobrany bezpośrednio z filtrów ma gęstość objętościową w granicach 150 do 350 kg/m³. Aby ułatwić transport, można pył granulować i wówczas gęstość objętościowa wynosi około 500 kg/m³. Jeżeli krzemionka jest stosowana w postaci pasty będącej wodną zawiesiną, to pasta taka ma gęstość około 700 kg/m³ i zawiera ok. 50% suchej masy.

Lata doświadczeń potwierdziły wysoką aktywność puculanową pyłów i ich przydatność do modyfikowania właściwości betonu. Pył krzemionkowy jest zwykle stosowany łącznie z plastyfikatorem lub superplastyfikatorem.

Tablica 1. Wymagania składu chemicznego

Składnik pyłu krzemionkowego	Dopuszczalna zawartość składnika w pyłe	Metoda oznaczania
SiO ₂	≥85% mas	PN-EN 196-2
krzem pierwiastkowy	≤0,4% mas.	ISO 9286
CaO wolny	≤1,0% mas.	PN-EN 451-1
siarka, jako SO ₃	≤2,0% mas.	PN-EN 196-2
całkowita zawartość alkaliów w przeliczeniu na Na ₂ O	Wartość deklarowana	PN-EN 196-2
chlorki	≤0,3% mas.	PN-EN 196-2
straty prażenia	≤4,0% mas.	PN-EN 196-2 *)

*) w teście jednogodzinnym

Norma PN-EN 206-1 sankcjonuje stosowanie pyłu krzemionkowego w technologii betonu przez wprowadzenie pojęcia współczynnika k dla tego dodatku. Modyfikuje on wartość „współczynnika woda/cement” wartością „współczynnika woda/(cement + k x dodatek)”. Maksymalna ilość pyłu krzemionkowego, który może być uwzględniony w tym współczynniku, oraz w wymaganiach co do ilości cementu w betonie, jest ustalona na wagowym poziomie:

$$\text{pył krzemionkowy} / \text{cement} < 0,11$$

i dotyczy tylko stosowania CEM I. Jeżeli użyjemy większych ilości pyłu krzemionkowego, to nadmiaru nie uwzględnia się przy obliczaniu współczynnika woda/spoiwo.

Krajowe uzupełnienia PN-B-06265, zgodnie z praktyką europejską, rozciągają zasady stosowania współczynnika k również na cementy z dodatkami CEM II/A (z wyjątkiem cementu portlandzkiego krzemionkowego CEM II/A-D).

Wartość współczynnika k norma 206-1 przyjmuje jako 2,0. Nie dotyczy to betonów pracujących w klasach ekspozycji XC i XF, a wykonanych przy $w/c > 0,45$; wówczas wartość współczynnika $k=1,0$. Zastosowanie pyłu krzemionkowego umożliwia zmniejszenie ilości cementu, ale tak, aby suma cement + k x pył krzemionkowy nie była mniejsza niż wymagana minimalna zawartość cementu w danej klasie ekspozycji. Nie można również zmniejszyć zawartości cementu o więcej niż o 30 kg/m³ w betonach użytkowanych w tych klasach ekspozycji, w których minimalna zawartość cementu jest określona na poziomie niższym niż 300 kg/m³.

Norma 206-1 nie omawia technologii stosowania pyłu krzemionkowego. Ilość pyłu i jego wpływ na wytrzymałość i inne właściwości stwardniałego betonu określa się na podstawie przeprowadzonych badań wstępnych, jednocześnie oczywiście korzystając z literatury i swoich własnych uprzednich doświadczeń.

Wymagania chemiczne

Wymagania dotyczące składu chemicznego pyłu krzemionkowego przedstawiono w tablicy 1.



Wymagania dla zawartości wolnego CaO ustalono na poziomie, który zapewnia stałość objętości betonu. Nie unormowano wartości całkowitej zawartości alkali, pozostawiając to wymaganiom krajowym. Uważa się, że tylko mała część alkali zawartych w pyłe krzemionkowym może brać udział w przebiegu reakcji z krzemionką i nie ma tym samym istotnego wpływu na możliwość powstania destrukcji betonu.

Wymagania fizyczne

Wymagania dotyczące właściwości pyłu krzemionkowego przedstawiono w tablicy 2.

Wielkość powierzchni właściwej określa się poprzez oznaczenie adsorpcji azotu. Wskaźnik aktywności jest odpowiednikiem koncepcji wskaźnika aktywności dla popiołu lotnego, ale jest oznaczany przy innych parametrach. Jest to procentowy stosunek wytrzymałości na ściskanie standardowych beleczek z zaprawy, wykonanych z 90% cementu i 10% pyłu krzemionkowego, w stosunku do wytrzymałości beleczek wykonanych z samym cementem. Stosunek określa się w 28-dniowym terminie badania dla obu próbek. Beleczki z pyłem krzemionkowym wykonuje się z pomocą superplastyfikatora, tak aby na stoliku rozplwowym uzyskać taką samą konsystencję jak mieszanki bez pyłu krzemionkowego.

Norma ściśle określa wymagania, jakie ma spełniać cement portlandzki CEM I 42,5 N użyty przez producenta pyłu krzemionkowego do wykonania oznaczenia wskaźnika aktywności. Wymagania są następujące:

- powierzchnia właściwa 300 do 400 m²/kg
- zawartość glinianu trójwapniowego 8 do 12%
- alkalia, jako równoważnik Na₂O, 0,6 do 1,2%.

Podobnie jak w przypadku popiołów lotnych, znajomość wartości wskaźnika aktywności jest informacją pomocniczą, której nie można wykorzystać bezpośrednio przy projektowaniu składu mieszanki.

Pozostałe wymagania

Utrzymane jest wymaganie oceny poziomu radioaktywności zgodnie z przepisami obowiązującymi w kraju stosowania.

Wskazuje się również na celowość zapobiegania pyleniu. W przypadku pyłów granulowanych lub wodnej emulsji niebezpieczeństwa takiego nie ma. W przypadku stosowania krzemionki w postaci pylistej wymagana jest ochrona dróg oddechowych przez stosowanie odpowiednich filtrów osobistych.

Norma nie podaje innych zagrożeń związanych ze stosowaniem pyłów krzemionkowych.

System atestacji zgodności

Dla pyłów krzemionkowych stosowanych do betonu, zapraw i ogólnie do wytwarzania wyrobów budowlanych przyjęto system 1+; najbardziej wymagający system oceny zgodności, tak samo surowy jak dla cementu.

W tym systemie, oprócz zadań bezpośrednio przydzielonych

Tablica 2. Wymagania fizyczne

Właściwość	Wymagania	Metoda oznaczania
powierzchnia właściwa	35,0 m ² /g > x > 15,0 m ² /g	ISO 9277
zawartość składnika w zawieszynie	±2% wartości deklarowanej przez producenta	suszenie w 105°C
wskaźnik aktywności	100% w terminie 28 dni	PN-EN 196-1

producentowi pyłu, kontrola jakości odbywa się pod nadzorem upoważnionej jednostki.

Do zadań producenta pyłów krzemionkowych należy:

- fabryczna kontrola produkcji
- wydawanie deklaracji zgodności, znakowanie znakiem CE
- uzupełniające badania próbek pobieranych z produkcji, prowadzone zgodnie z planem badań.

Do zadań upoważnionej jednostki należy:

- wstępne badanie typu
 - wstępna inspekcja fabryki i fabrycznej kontroli produkcji
 - ciągły nadzór, ocena kontrolnych próbek i akceptacja produkcji.
- Zgodność pyłu z wymaganiami jest oceniana poprzez badania próbek wykonywane z częstotliwością podaną w poniższym zestawieniu (tablica 3). Zgodność z normą EN 13263-1 oceniana jest na podstawie procedur oceny zgodności podanych w normie EN 13263-2.

Zasady oceny zgodności są analogiczne do oceny zgodności dla cementów i takie jak w dotychczasowej normie na popiół lotny. Wartości charakterystyczne powinny odpowiadać kwantylowi 10% (odpowiednio do granicy dolnej lub górnej), a ryzyko odbiorcy powinno wynosić 5% dla wszystkich właściwości objętych normą. Na tych zasadach w punkcie 7.2 norma podaje zasady oceny zgodności prowadzonej albo według metody liczbowej, albo metody alternatywnej.

Niezależnie od oceny zgodności przyjęto wartości graniczne (tablica 4), przekroczenie których, dla pojedynczego nawet badania, dyskwalifikuje pył krzemionkowy.

Podsumowanie

Dotychczas jakość pyłu krzemionkowego była aprobowana według założeń udzielania aprobat technicznych ITB 15/VI.04 z 1999 r., w podstawowych wymaganiach zgodnych z nową normą.

Norma EN 13263-1 daje krajowemu wytwórcy pyłu krzemionkowego pełną wiedzę, jak należy kontrolować pył krzemionkowy będący składnikiem mieszanki betonowej. Jednocześnie zostaje otwarta droga do znakowania pyłu znakiem CE, a więc i do swobodnego handlu tym wyrobem.

Jak na tak prosty produkt jak pył krzemionkowy, tekst dwuczęściowej normy jest znacznie rozbudowany. Ale to samo można powiedzieć o normie cementowej i normie na popiół lotny.

Warto zauważyć, że norma na pył krzemionkowy była praktycznie ostatnią brakującą normą wśród pełnego zestawu norm związanych z europejską normą betonową EN 206-1. Praktycznie, bo brakuje jeszcze normy na barwniki do betonu, nad którą to normą prace nie są jednak prowadzone.

dr inż. Edward Kon
Zakład Betonu
Institut Techniki Budowlanej

Tablica 3. Częstotliwość badań pyłu krzemionkowego

Cecha	Minimalna częstotliwość oznaczeń	
	Produkcja początkowa	Produkcja ciągła
SiO ₂	2 / tydzień	1 / tydzień
krzem pierwiastkowy	2 / miesiąc	1 / miesiąc
CaO wolne	2 / tydzień	1 / tydzień
siarka jako SO ₃	2 / tydzień	1 / tydzień
alkalia	2 / miesiąc	1 / miesiąc
chlorki	2 / tydzień	1 / tydzień
straty prażenia	2 / tydzień	1 / tydzień
powierzchnia właściwa	2 / miesiąc	1 / miesiąc
zawartość krzemionki w zawieszynie	2 / tydzień	1 / tydzień
wskaźnik aktywności	2 / miesiąc	1 / miesiąc

Tablica 4. Dopuszczalne wartości graniczne

Cecha	Wartości graniczne pojedynczego oznaczenia
straty prażenia (górną granicą)	6,0% mas
SiO ₂ (dolną granicą)	80% mas
krzem pierwiastkowy (górną granicą)	0,5% mas
powierzchnia właściwa (dolną granicą)	13,5 m ² /g
wskaźnik aktywności (dolną granicą)	95%