

ARTYKUŁY – REPORTS

Czesława Wolska-Kotańska\*

## DODATKI DO BETONU WEDŁUG NORMY EUROPEJSKIEJ EN 206 „BETON”

W artykule przedstawiono dwa typy dodatków do betonu wymienionych w EN 206-1 *Beton*: typ I – dodatki obojętne w stosunku do składników betonu i typ II – dodatki pucolanowe lub o słabym działaniu hydraulicznym. Omówiono dodatki typu II ze szczególnym uwzględnieniem ich właściwości fizycznych i chemicznych określonych we właściwych normach lub ich projektach oraz zasady stosowania dodatków w betonie z wykorzystaniem koncepcji współczynnika  $k$ . Omówiono dodatki do betonu dostępne w Polsce oraz przedstawiono przykłady zastosowań betonów z pyłami krzemionkowymi. Pyły te, dzięki wysokiej aktywności pucolanowej i niezwykłej miękkości, są poszukiwanym materiałem do produkcji nowej generacji betonów wysokowartościowych.

### 1. Wprowadzenie

Opracowywana europejska norma EN 206 *Beton, Część I: Wymagania, właściwości, produkcja i kryteria zgodności*, której dwudziesta szósta, finalna wersja została ustanowiona jako norma europejska w styczniu 2000 r., definiuje dodatek do betonu jako materiał mocno rozdrobniony, stosowany w celu poprawy właściwości betonu lub osiągnięcia właściwości specjalnych, i wyróżnia dwa typy dodatków:

**typ I** – dodatki prawie obojętne: wypełniacze oraz pigmenty,

**typ II** – dodatki pucolanowe lub o słabym działaniu hydraulicznym.

Do betonu powinny być stosowane tylko dodatki o ustalonej przydatności.

Ustalono przydatność do betonu – jako dodatku typu I – wypełniaczy mineralnych zgodnych z prEN 12620 i pigmentów nieorganicznych, które spełniają wymagania prEN 12878.

Ustalono również przydatność do betonu – jako dodatku typu II – popiołu lotnego spełniającego wymagania EN 450 (również PN-EN 450) i pyłu krzemionkowego, odpowiadającego wymaganiom europejskiej normy prEN 13263-1, której projekt – po siedmioletnich dyskusjach w Grupie Roboczej WG9 CEN /TC 104 – jest w końcowej fazie zatwierdzania.

\* dr n.t. – docent w ITB

Ustalenie przydatności dodatków do betonu może także wynikać z normy europejskiej na dany dodatek, która odnosi się wyraźnie do stosowania w betonie, zgodnie z EN 206.

Alternatywnie, jeżeli nie ma:

- normy europejskiej na dany dodatek,
- istnieje EN, ale nie obejmuje danego dodatku,
- dodatek odbiega od wymagań istniejącej EN

ustalenie przydatności do betonu może wynikać z europejskiej aprobaty technicznej albo normy krajowej, która odnosi się do stosowania danego dodatku w betonie, odpowiadającym wymaganiom EN 206.

W artykule omówiono dodatki typu II, ze szczególnym uwzględnieniem ich właściwości fizycznych i chemicznych, określonych we właściwych normach lub ich projektach.

Przedmiotowe normy europejskie na dodatki typu II nie zawierają jednak zasad stosowania tych dodatków w betonie, odsyłając do procedur podanych w EN 206, które skrótowo przedstawiono w artykule. Omówiono także dodatki typu II dostępne w Polsce i przedstawiono przykłady zastosowań betonów z pyłami krzemionkowymi.

Zagadnienia poruszane w artykule były przedmiotem referatu na Konferencji Naukowo-Technicznej „Jadwisin 2000”.

## 2. Dodatki typu II

Dodatek typu II jest to mocno rozdrobniony materiał nieorganiczny, o właściwościach pucolanowych lub o słabym działaniu hydraulicznym, który może być dodany do betonu w celu poprawienia jego właściwości lub uzyskania specjalnych właściwości.

Dodatki typu II mogą być stosowane do betonu zarówno wykonywanego na placu budowy, jak i przy produkcji prefabryków betonowych spełniających wymagania EN - 206.

Jak już wspomniano wyżej, do grupy dodatków typu II norma zalicza popioły lotne i pyły krzemionkowe.

Według definicji normowej **popiół lotny** jest drobno uziarnionym pyłem składającym się głównie z zeszkliwionych kulistych ziarn, otrzymanym przy spalaniu miazgi węglowej, mającym właściwości pucolanowe i zawierającym w swym składzie przede wszystkim  $\text{SiO}_2$  i  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , przy czym zawartość reaktywnej krzemionki (określonej według EN 197-1) wynosi co najmniej 25% masy.

**Pył krzemionkowy** jest to bardzo drobno uziarniony amorficzny tlenek krzemu wytworzony jako produkt uboczny w procesie hutniczym przy produkcji krzemu metalicznego i stopów żelazokrzemowych.

W Polsce pyły krzemionkowe powstają tylko w hucie Łaziska jako produkt uboczny przy produkcji żelazokrzemu. Przy wytwarzaniu każdej tony stopu żelazokrzemowego powstaje równocześnie 250–350 kg pyłów.

## 3. Zasady stosowanie dodatków do betonu według EN-206

Ilości dodatków typu I i II, w jakich będą one stosowane w betonie, powinny być ustalone w badaniach wstępnych, w których należy wykazać, że beton z dodatkami

spełnia określone wymagania, zarówno w przypadku betonu świeżego, jak i stwardniałego. Za alternatywę badań wstępnych można uznać badania wykonane wcześniej lub wieloletnie doświadczenia.

Dodatki typu II spełniające wymagania właściwych norm mogą być brane pod uwagę przy obliczaniu składu betonu, przy czym w EN 206 przyjmuje się koncepcję współczynnika  $k$ , którego przydatność w przypadku popiołów lotnych i pyłów krzemionkowych została udowodniona i który pozwala na uwzględnienie obecności tych dodatków w składzie betonu w następujący sposób:

- przez zamianę wskaźnika  $w/c$  na wskaźnik  $w/(c + k \times \text{dodatek})$ ,
- przy obliczaniu minimalnej zawartości cementu.

Wartość współczynnika  $k$  jest zależna od specyfiki dodatku. W EN-206 przedstawiono zastosowanie współczynnika  $k$  do popiołów lotnych i pyłów krzemionkowych w połączeniu z cementem typu CEM I odpowiadającym EN 197-1. Wartość współczynnika  $k$  może być wykorzystana do popiołów lotnych i pyłów krzemionkowych także w połączeniu z innymi typami cementów, pod warunkiem że jej przydatność zostanie udowodniona.

Norma dopuszcza wykorzystanie również innych metod uwzględniania omawianej grupy dodatków w składzie betonu, takich jak koncepcja równoważnych właściwości użytkowych betonu, modyfikacje zasad wykorzystania współczynnika  $k$ , przyjęcie jego wyższych wartości lub zastosowanie innych dodatków (łącznie z typem I), ale należy wykazać przydatność tych koncepcji.

Ustalenie przydatności może wynikać:

- z europejskiej aprobaty technicznej, która odnosi się ściśle do stosowania danego dodatku w betonie odpowiadającym wymaganiom EN 206, albo
- z normy krajowej (lub postanowienia) właściwej dla miejsca stosowania betonu, która odnosi się ściśle do stosowania danego dodatku w betonie odpowiadającym wymaganiom EN 206.

### 3.1. Współczynnik $k$ dla popiołu lotnego odpowiadającego PN-EN 450

Maksymalna ilość popiołu lotnego brana pod uwagę przy wykorzystaniu współczynnika  $k$  powinna spełniać wymaganie:

$$\text{popiół lotny/cement} \leq 0,33 \text{ (wagowo)}$$

Jeżeli zastosowano większą ilość popiołu, to nadwyżka nie powinna być uwzględniana przy obliczaniu współczynnika  $w/c + k \times \text{popiół}$  oraz minimalnej zawartości cementu.

W przypadku stosowania do betonu cementu CEM I zgodnego z EN 197-1 dopuszcza się następujące wartości  $k$ :

CEM I 32,5	$k = 0,2$
CEM I 42,5	$k = 0,4$

Według omawianej normy dotyczącej betonu minimalna ilość cementu wymagana przy właściwej klasie ekspozycji na działanie środowiska (w normie podaje się 18 klas ekspozycji) może być zmniejszona najwyżej o ilość wynikającą z obliczenia:  $k \times$  (minimalna zawartość cementu –  $200 \text{ kg/m}^3$ ), przy czym łączna ilość spoiwa (cement + popiół) nie powinna być mniejsza niż wymagana najmniejsza ilość cementu dla danej klasy ekspozycji i danej klasy wytrzymałości betonu.

Stosowanie koncepcji współczynnika  $k$  nie jest wskazane przy kombinacji popiołu lotnego z cementem odpornym na siarczany w przypadku ekspozycji betonu na działanie agresywnego środowiska siarczanowego.

### 3.2. Współczynnik $k$ dla pyłu krzemionkowego odpowiadającego prEN 13263

Maksymalna ilość pyłu krzemionkowego uwzględniana przy obliczaniu wskaźnika  $w/c$  i zawartości cementu w betonie powinna spełniać warunek:

$$\text{pył krzemionkowy} / \text{cement} \leq 0,11 \text{ (wagowo)}$$

Jeżeli zastosowano większą ilość pyłu, nadwyżka nie powinna być brana pod uwagę wówczas, gdy stosowany jest współczynnik  $k$  do obliczania składu betonu.

W przypadku betonu zawierającego cement typu CEM I odpowiadający EN 197-1 dopuszcza się stosowanie następujących wartości  $k$ :

- dla wskaźnika  $w/c \leq 0,45$   $k = 2,0$ ,
- dla wskaźnika  $w/c > 0,45$   $k = 2,0$  (z wyjątkiem klas środowiskowych XC i XF (karbonatyzacja i działanie mrozu), gdzie  $k = 1,0$ )

Ilość spoiwa (cement +  $k \times$  pył krzemionkowy) nie powinna być mniejsza niż minimalna ilość cementu wymagana w normie dla właściwej klasy ekspozycji. W betonie zastosowanym w takich warunkach oddziaływań środowiskowych, kiedy najmniejsza ilość cementu wynosi  $\leq 300 \text{ kg/m}^3$ , ilość cementu nie powinna być zmniejszona o więcej niż  $30 \text{ kg/m}^3$ .

Przy wykorzystaniu pyłów krzemionkowych w betonie powinny być stosowane plastyfikatory lub superplastyfikatory – w celu poprawy dyspersji dodatku.

## 4. Wymagania dotyczące dodatków typu II

Wymagania dotyczące cech chemicznych i fizycznych dodatków typu II są określone w normach przedmiotowych jako wartości charakterystyczne (granice górne lub dolne).

### 4.1. Właściwości chemiczne

Skład chemiczny dodatków typu II jest wyrażany w procentach wagowych w stosunku do suchego materiału. Wymagania dotyczące właściwości chemicznych popiołu lotnego i pyłu krzemionkowego jako dodatku do betonu przedstawiono w tablicy 1.

Użytkownicy popiołu lotnego, niezależnie od wymienionych parametrów chemicznych, na które ustalono wymagania, mogą zażądać od producenta lub dostawcy danych dotyczących zawartości krzemionki, tlenków glinu, żelaza i wapnia, określonych za pomocą metod podanych w PN-EN 196-2:1996 oraz zawartości alkaliów w przeliczeniu na  $\text{Na}_2\text{O}$ , określonej zgodnie z PN-EN 196-21:1996.

Użytkownik pyłu krzemionkowego, niezależnie od podanych wymaganych parametrów chemicznych, może zażądać danych dotyczących zawartości alkaliów w przeliczeniu na  $\text{Na}_2\text{O}$ , określonej zgodnie z PN-EN 196-21:1996.

Tablica 1. Właściwości chemiczne dodatków typu II do betonu

Właściwość	Wymagania	
	Popiół lotny wg PN-EN 450	Pył krzemionkowy wg prEN 13263-1
Strata prażenia, %	nie więcej niż 5,0	nie więcej niż 4,0
SiO <sub>2</sub> , %	nie bada się	nie mniej niż 85,0
Cl <sup>-</sup> , %	nie więcej niż 0,10	nie więcej niż 0,30
SO <sub>3</sub> , %	nie więcej niż 3,0	nie więcej niż 2,0
CaO wolny, %	nie więcej niż 1,0	nie więcej niż 1,0
Si wolny, %	nie bada się	nie więcej niż 0,4

#### 4.2. Właściwości fizyczne i wytrzymałościowe

Wymagania w stosunku do właściwości fizycznych i wytrzymałościowych popiołu lotnego i pyłu krzemionkowego jako dodatku do betonu przedstawiono w tablicy 2.

Tablica 2. Właściwości fizyczne i wytrzymałościowe dodatków do betonu

Właściwość	Wymagania	
	Popiół lotny wg PN-EN 450	Pył krzemionkowy wg prEN 13263-1
Powierzchnia właściwa, m <sup>2</sup> /kg	nie bada się	nie mniej niż 15 000
Pozostałość na sicie 0,045 mm	nie więcej niż 40	nie bada się
Gęstość objętościowa, kg/m <sup>3</sup>	nie więcej niż ±150 od wartości zadeklarowanej	nie bada się
Zawartość suchej masy w zawieszynie, %	nie bada się	nie więcej niż ± 2,0 od wartości zadeklarowanej
Wskaźnik aktywności pucolanowej*, %: po 28 dniach, po 90 dniach	(przy zamianie 25% cementu przez popiół) nie mniej niż 75 nie mniej niż 85	(przy zamianie 10% cementu przez pył krzemionkowy) nie mniej niż 100 nie bada się
Stołość objętości, mm	nie więcej niż 10	nie bada się

\* Cement porównawczy – cement portlandzki CEM I, o klasie wytrzymałości 42,5, zgodny z EN 197-1

## 5. Dodatki typu II w Polsce

Ze względu na to, że polska energetyka zawodowa oparta jest wyłącznie na procesie spalania węgla, ilość popiołów lotnych wytwarzanych w kraju sięga każdego roku kilkunastu milionów ton.

Stosowanie popiołów lotnych jako dodatku do betonu ma w Polsce wieloletnią tradycję i nie wymaga szczególnego omówienia. Popioły lotne jako dodatek do betonu stosuje się

w celu uzyskania oszczędności cementu, poprawy właściwości mieszanek betonowych, obniżenia temperatury hydratacji cementu i zmniejszenia naprężeń termicznych w dużych masach betonowych oraz w celu zwiększenia odporności betonu na agresję chemiczną. Popioły lotne są stosowane do betonu w ilościach do 30% w stosunku do ilości cementu.

Pyły krzemionkowe są materiałem stosunkowo nowym i jego wykorzystanie w budownictwie – z każdym rokiem intensywniejsze – zasługuje na szersze omówienie.

Dzięki wysokiemu stopniowi rozdrobnienia i wybitnym właściwościom pucolanowym pyłów krzemionkowych, zastosowanie ich jako dodatku do betonu powoduje znaczący wzrost jego wytrzymałości, wzrost szczelności i zwiększenie odporności na działanie środowisk agresywnych oraz zmniejszenie negatywnych skutków reaktywności alkalicznej kruszywa.

Właściwości pucolanowe pyłów krzemionkowych są zdecydowanie większe niż pucolanowość popiołów lotnych, dlatego pyły dodaje się do betonu w ilościach do 10% w stosunku do ilości cementu, a nierzadko w ilości 2–5%.

Ilość pyłów krzemionkowych wychwytywanych w ostatnim okresie przez instalację odpylającą huty Łaziska wyniosła 32 000 ton rocznie. W porównaniu z latami osiemdziesiątymi stanowi to wzrost sześćdziesięcioprocentowy. Zwiększenie ilości przechwytywanych pyłów jest wynikiem zainstalowania urządzeń odpylających na wszystkich piecach działających w hucie.

Należy podkreślić, że huta Łaziska, która rozpoczęła odpylanie procesu produkcji żelazokrzemu w 1971 r., całość pozyskiwanych wówczas pyłów krzemionkowych odprowadzała na składowisko, gdyż nie było zainteresowania wykorzystaniem tego materiału. Poczynając od 1991 r. – mimo że ilość pozyskiwanych pyłów sukcesywnie wzrastała – całość materiału była przez hutę sprzedawana.

Pyły krzemionkowe powstające w Polsce charakteryzują się wysoką jakością, co powoduje, że są one przedmiotem dużego zainteresowania nabywców zagranicznych, a eksport obejmuje ponad 60% pozyskiwanego materiału.

Podstawowym składnikiem pyłów krzemionkowych jest amorficzna krzemionka (85–93%  $\text{SiO}_2$ ), a ich skład chemiczny charakteryzuje się dużą stabilnością.

Pyły są materiałem niezwykle drobnym, o przeciętnej powierzchni właściwej rzędu 200 000  $\text{cm}^2/\text{g}$ . Dzięki tak dużemu stopniowi rozdrobnienia bezpostaciowa krzemionka zawarta w pyłach łatwo wchodzi w reakcje z wodorotlenkiem wapniowym uwalnianym w procesie hydratacji cementu, ujawniając wysoką aktywność pucolanową. Wynikiem reakcji pucolanowych jest zwiększenie ilości uwodnionych krzemianów wapniowych typu CSH i wzrost wytrzymałości betonu, zaznaczający się już wyraźnie po 7 dniach twardnienia.

Jednym z najistotniejszych czynników kształtujących trwałość betonu jest porowatość kapilarna zaczynu cementowego – ze względu na jej ścisły związek z przenikliwością betonu w stosunku do gazów i cieczy. Równie ważnym czynnikiem jest warstwa przejściowa pomiędzy ziarnami kruszywa a zaczynem cementowym, która stanowi słabe ogniwo w betonie, podatne na penetrację wody i agresywnych jonów w głąb betonu. Przez wprowadzenie do mieszanki betonowej pyłów krzemionkowych można uzyskać zmniejszenie lub nawet całkowitą likwidację porów kapilarnych, bowiem w wy-

wyniku oddziaływań fizycznych oraz przebiegu reakcji pucolanowych modyfikują one korzystnie mikrostrukturę zaczynu, jak również skład i strukturę warstwy przejściowej, zmniejszając porowatość tej strefy i zwiększając przyczepność kruszywa do matrycy cementowej. Prowadzi to w konsekwencji do wzrostu szczelności, poprawy właściwości mechanicznych i trwałości betonu. Zmiany te znajdują odbicie w zmniejszeniu przepuszczalności betonu oraz zwiększeniu jego odporności na działanie środowisk agresywnych [1], [2], [3], [4], [5].

## **5.1. Kierunki zastosowania w budownictwie betonów z pyłami krzemionkowymi**

Poniżej przedstawiono przykłady różnych zastosowań pyłów w budownictwie na świecie, aby wykazać możliwości i zainspirować projektantów, technologów oraz producentów betonu do stosowania tego materiału w budownictwie w Polsce. Wykorzystanie pyłów jest na razie w początkowym etapie, ale przykład krajów, w których wcześniej doceniono ich walory, powinien skłonić do śmielszego sięgania po ten nowy, atrakcyjny dodatek do betonu.

Badania prowadzone od wielu lat w Instytucie Techniki Budowlanej mają również na celu szersze wprowadzenie pyłów krzemionkowych do praktyki budowlanej w Polsce.

### **5.1.1. Beton o wysokich wczesnych wytrzymałościach**

Beton o wysokich wczesnych wytrzymałościach znajduje zastosowanie przy budowie mostów, tuneli, autostrad i pasów startowych, pozwalając na szybkie oddanie do użytku obiektu. Na przykład beton z pyłem zastosowany w 1987 r. w stanie Massachusetts do naprawy mostu drogowo-kolejowego wykazał 3-dniową wytrzymałość rzędu 41 MPa (wobec projektowanej 34 MPa), mimo że temperatura powietrza była wówczas niespotykane niska, a beton był częściowo zanurzony w zimnej wodzie morskiej. W elementach prefabrykowanych dodatek pyłu pozwala uzyskać beton o 8-godzinnej wytrzymałości w granicach 21–48 MPa.

### **5.1.2. Betony o wysokich wytrzymałościach i betony wysokowartościowe**

Pyły krzemionkowe w kompozycji z dodatkiem odpowiedniej ilości superplastyfikatora są niezbędne do produkcji betonów nowej generacji, charakteryzujących się nie tylko wysoką wytrzymałością, ale także wysoką szczelnością, a zatem i trwałością. Tematyka dotycząca betonów wysokowartościowych znajduje się obecnie w centrum zainteresowania budownictwa. Podstawowym celem tego zainteresowania jest osiągnięcie kompozytu o niskiej porowatości i możliwie najmniejszej wielkości porów oraz dążenie do równomiernego przestrzennego rozkładu ziarn kruszywa, dodatków mineralnych, cementu i jego hydratów.

W krajach Unii Europejskiej i USA za wysokowytrzymałe uważa się betony o wytrzymałości 60–130 MPa. Betony tego typu znajdują zastosowanie przy budowie mostów, wiaduktów, konstrukcji morskich (tj. platform wiertniczych) i przybrzeżnych, budynków wysokich, tuneli, fundamentów o dużych nośnościach, konstrukcji energetycznych (w tym elektrowni atomowych), przy produkcji elementów prefabrykowanych do różnych budowli użyteczności publicznej (stadionów, hal, wież).

W Polsce odnotowuje się coraz liczniejsze przykłady zastosowania betonów z pyłami np. do budowy skarbców bankowych, mostów i wiaduktów, budynków wysokich itp.

### 5.1.3. Beton odporny na ścieranie

Z uwagi na zwiększoną odporność na ścieranie beton z pyłami jest powszechnie stosowany w Europie i USA do podłóg przemysłowych. W celu zwiększenia odporności na ścieranie, przy budowie pasów startowych w bazach sił powietrznych USA stosuje się beton z dodatkiem pyłów, którego 28-dniowa wytrzymałość wynosi 138 MPa.

Intensywne badania poprzedziły wykorzystanie pyłów w betonach jako warstwy zewnętrznej nawierzchni mostów, gdzie jest on stosowany alternatywnie z betonem modyfikowanym lateksem, wykazując w stosunku do tego ostatniego przewagę, jeśli chodzi o zwiększenie odporności na przenikanie jonów chlorkowych do stali zbrojeniowej, odporności na ścieranie oraz zwiększenie zarówno wczesnych, jak i późniejszych wytrzymałości.

Beton zawierający pyły jest stosowany nie tylko do nawierzchni mostowych, ale także do budowy elementów konstrukcyjnych mostów. W takim charakterze był zastosowany przy budowie wielu mostów w USA, w Norwegii i Danii, a także w Polsce.

### 5.1.4. Beton z kruszywami reaktywnymi

Pyły są stosowane z powodzeniem do zapobiegania szkodliwej ekspansji wynikającej z reakcji alkalia – kruszywa w betonie. W porównaniu z innymi materiałami wykorzystywanymi w tym celu, popiołami lotnymi, pyły okazały się znacznie efektywniejsze.

Pyły są stosowane do walki z korozją alkaliczną w wielu krajach. W Polsce również opracowano skuteczną metodę zapobiegania korozji alkalicznej betonu poprzez zastosowanie pyłów krzemionkowych i kompozycji pyłów z popiołami lotnymi. Metoda ta jest przedmiotem Instrukcji ITB nr 306/91, z późniejszą nowelizacją [6].

### 5.1.5. Beton odporny na korozję chemiczną

Zmniejszona przepuszczalność betonu z pyłami jest atutem przy zapobieganiu różnym formom korozji chemicznej. Chociaż zastosowanie pyłu nie eliminuje całkowicie destrukcji spowodowanej działaniem agresywnych czynników chemicznych, to zdecydowanie wydłuża okresy pomiędzy kolejnymi naprawami obiektów przemysłu chemicznego, owocowo-warzywnego i innych.

Jednym z najważniejszych zastosowań pyłów jako dodatku do betonu jest ich wykorzystywanie do walki ze skutkami działania na beton soli odładzających.

W USA stosuje się powszechnie beton z dodatkiem pyłu do budowy parkingów. Typowe mieszanki betonowe zawierają dodatek pyłu w ilości 7,5–10%.

## Literatura

- [1] Aitcin P.C.: High-Performance Concrete. E & FN Spon.. London 1998
- [2] Wolska-Kotańska C.: Dodatki i domieszki do betonów wysokowartościowych. *Cement-Wapno-Beton*, 12, 1996; s. 216–220
- [3] Ściślewski Z., Wójtowicz M.: The Influence of Silica Fume on Durability of Concrete and Reinforced Concrete. Proceedings of the 7th Conference on Durability of Building Materials and Components, Stockholm 1996



- [4] Wolska-Kotańska C.: Zwiększenie szczelności betonu przez zastosowanie pyłów krzemionkowych. XVI Konferencja Naukowo-Techniczna, Jadwisin '98
- [5] Wolska-Kotańska C.: Instrukcja ITB nr 362/99 Stosowanie pyłów krzemionkowych do wykonywania betonów narażonych na działanie wybranych warunków środowiskowych. ITB, Warszawa 1999
- [6] Wolska Kotańska C., Kaczkowska D.: Instrukcja ITB nr 306/91 Zapobieganie korozji alkalicznej betonu przez zastosowanie dodatków mineralnych. ITB, Warszawa 1991 (z późniejszą nowelizacją)

*Praca wpłynęła do Redakcji 29 VI 2000*