

Dobór cementu do określonych klas ekspozycji zawartych w normie PN-EN 206-1 „Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność”

SELECTION OF CEMENT FOR PARTICULAR EXPOSITION
CLASSES DESCRIBED IN STANDARD PN-EN 206-1 “CONCRETE.
PART 1: REQUIREMENTS, PROPERTIES, PRODUCTION
AND CONFORMITY”

Streszczenie

Norma PN-EN 206-1 nie precyzuje szczegółowych wymagań dotyczących doboru cementu do produkcji określonego rodzaju betonu. Według normy PN-EN 206-1 ogólną przydatność cementu należy ustalać zgodnie z normą PN-EN 197-1, biorąc pod uwagę realizację robót, przeznaczenie betonu, warunki pielęgnacji, wymiary konstrukcji, warunki środowiska i potencjalną reaktywność alkaliczną kruszyw. W referacie autorzy, z uwzględnieniem wymagań normy PN-EN 197-1 (cementy powszechnego użytku) i PN-B-19707 (cementy specjalne), wskazali na możliwość zastosowania cementów dostępnych w kraju (CEM I – CEM V) w poszczególnych klasach ekspozycji, określonych w normie PN-EN 206-1.

Abstract

The standard PN-EN 206-1 does not specify any detailed requirements concerning the selection of particular cement type for concrete production. According to the standard PN-EN 206-1 recordings, general usefulness of cement should be evaluated in compliance with standard PN-EN 197-1, considering the realization of works, concrete application,

curing conditions, construction dimensions, environmental background and potential alkali reactivity of aggregates. In the article, the authors, presented the areas of use for cements (CEM I – CEM V) which are available on the domestic market in individual exposition classes contained in the standard PN-EN 206-1, in view of the requirements of PN-EN 197-1 (common use cements) and PN-B-19707 (special cements).

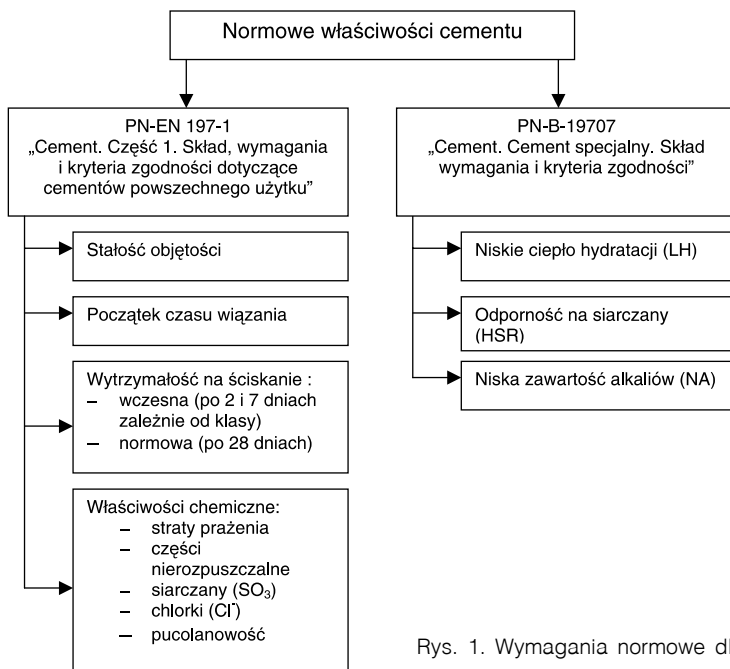
1. Wprowadzenie

Analizując treść normy PN-EN 206-1 [1] można zauważyć, że zapisy odnoszące się do składu betonu dotyczą betonu wykonanego z cementu portlandzkiego CEM I. Wieloletnie doświadczenia krajowe i zagraniczne wskazują natomiast na możliwości zastosowania, w produkcji betonu i prefabrykacji, szeregu innych cementów różniących się składem i właściwościami. Organizacja robót budowlanych, uwarunkowania technologiczne i temperaturowe wymuszają stosowanie także w praktyce cementów różnych klas wytrzymałościowych (od 32,5N do 52,5R). Biorąc powyższe pod uwagę autorzy, opierając się na doświadczeniach własnych i rozwiązaniach innych krajów, postanowili wskazać na dobór cementu do betonu w poszczególnych klasach ekspozycji określonych w normie PN-EN 206-1 [1]. Szczególną uwagę zwrócono na właściwości cementów, które mogą być pomocne w realizacji obiektów budowlanych zgodnie z wymaganiami europejskiej normy betonowej.

2. Właściwości cementów

Cement stanowi podstawowy materiał wiążący stosowany w budownictwie i przemyśle materiałów budowlanych. W całej Europie, w tym także i w Polsce, cemeny dzieli się na dwie podstawowe grupy:

- cemeny powszechnego użytku – bez wyszczególniania specjalnych cech użytkowych,
- cemeny specjalne – wykazujące takie cechy użytkowe, na podstawie których można spoiwo zakwalifikować jako cement do specjalnego zastosowania.



Rys. 1. Wymagania normowe dla cementu

Wymagania dotyczące cementów powszechnego użytku są zawarte w normach PN-EN 197-1 [2] i PN-EN 197-2 [3], natomiast norma PN-B-19707 [4] zawiera wymagania dotyczące składu i właściwości cementów specjalnych.

Zakres obowiązujących wymagań normowych dla cementu pokazano na rysunku 1.

Oprócz wymienionych właściwości istotne znaczenie w praktyce budowlanej mają inne właściwości cementu, które nie są objęte wymaganiami normowymi. Zaliczyć do nich można: skurcz zaprawy cementowej, wodozgodność cementu, powierzchnię właściwą, wytrzymałość na zginanie, szybkość przyrostu wytrzymałości (zwłaszcza wczesnej), narastanie wytrzymałości w różnych temperaturach dojrzewania (niskie-wysokie temperatury), temperatura dostarczanego cementu oraz jego barwa. Właściwości te są często przedmiotem wymagań zawartych w próbach technicznych oraz specyfikacjach lub katalogach projektowo-wykonawczych dotyczących budownictwa specjalistycznego (np. „Katalog typowych konstrukcji nawierzchni sztywnych” wydany przez IBDiM).

3. Dobór cementu do określonego rodzaju betonu

Zgodnie z treścią normy PN-EN 206-1 [1] dobierając cement do określonego rodzaju betonu, należy wziąć pod uwagę:

- realizację robót,
- przeznaczenie betonu,
- warunki pielęgnowania (np. obróbka cieplna),
- wymiary konstrukcji (ilość ciepła wydzielana w trakcie procesu twardnienia),
- warunki środowiska, na które będzie narażona konstrukcja (oddziaływania środowiska w normie PN-EN 206-1 sklasyfikowano jako klasy ekspozycji),
- potencjalną reaktywność kruszywa z alkaliowymi dodatkami w składnikach betonu.

W wielu zastosowaniach wybór cementu ma wpływ na trwałość betonu, zaprawy lub zaczynu, tj. mrozoodporność, odporność na korozję chemiczną i ochronę zbrojenia.

Dobór cementu, szczególnie pod względem rodzaju i klasy wytrzymałości dla różnych zastosowań i klas ekspozycji, powinien uwzględniać odpowiednie normy i przepisy dotyczące betonu w miejscu stosowania.

Tabela 1. Zakres i przykłady stosowania cementów

Rodzaj cementu	Zakres i przykłady stosowania
Cement portlandzki CEM I	Przydatny we wszystkich klasach ekspozycji z wyłączeniem klasy XA 2 i XA 3 (potrzebne są cementy siarczanoodporne HSR). Cementy portlandzkie CEM I 42,5N,R i 52,5N,R są szczególnie przydatne w produkcji betonu wysokich klas wytrzymałościowych, produkcji wibrowanej kostki brukowej, produkcji galanterii betonowej i prefabrykacji oraz w produkcji pokryw dachowych.
Cement portlandzki żuźlowy CEM II/A,B-S	Przydatny we wszystkich klasach ekspozycji z wyłączeniem klasy XA 2 i XA 3 (potrzebne są cementy siarczanoodporne HSR). Cementy wyższych klas wytrzymałościowych (42,5 i 52,5) są szczególnie zalecane do produkcji dachówki cementowej, betonowej kostki brukowej, krawężników, obrzeży chodnikowych oraz elementów prefabrykowanych. Są to bardzo dobre cementy do wykonywania betonów wysokich klas wytrzymałościowych (C40/C50 i wyższych).

Tabela 1 c.d. Zakres i przykłady stosowania cementów

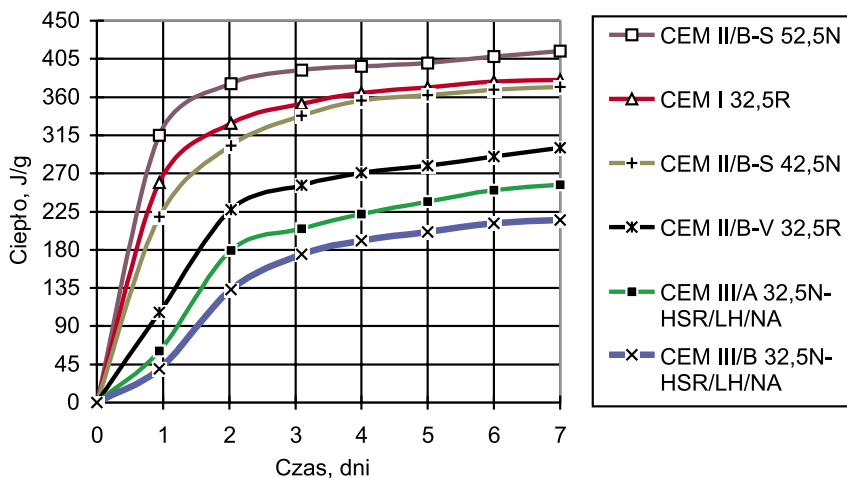
Rodzaj cementu	Zakres i przykłady stosowania
Cement portlandzki popiołowy CEM II/B-V 32,5N,R HSR, cement pułcolanowy CEM IV/A,B	Przydatny prawie we wszystkich klasach ekspozycji, z wyłączeniem klas ekspozycji XF3–XF4 (agresywne oddziaływanie zamrażania/rozmarzania przy silnym nasyceniu wodą bez środków odladzających, bądź ze środkami odladzającymi lub wodą morską). Cement szczególnie przydatny w przypadku wykonywania obiektów narażonych na agresję siarczanową (oczyszczalnie ścieków, budownictwo morskie, roboty górnicze). Cementy tej grupy w klasie wytrzymałościowej 42,5 mogą być z powodzeniem stosowane w produkcji galanterii betonowej i prefabrykacji.
Cement portlandzki wieloskładnikowy CEM II/A,B-M (V, S,L, LL)	Bardzo szeroka asortymentowa grupa cementów. Zakres stosowania uzależniony od składu cementu. Cementy zawierające popiół lotny i granulowany żużel hutniczy mają podobny zakres stosowania jak cement portlandzki żużlowy CEM II/A,B-S lub cement portlandzki popiołowy CEM II/A,B-V. Cement z dodatkiem kamienia wapiennego (V-LL, S-LL) jest szczególnie przydatny do stosowania w przypadku braku zagrożenia agresją środowiska lub zagrożenia korozją (XO) lub w przypadku korozji spowodowanej karbonatyzacją (od XC1 do XC3). Bardzo dobre spoiwo do prac murarskich i tynkarskich.
Cement hutniczy CEM III/A,B	Cement przydatny we wszystkich klasach ekspozycji (w klasach ekspozycji XA 2 i XA 3 należy stosować cement hutniczy CEM III HSR), z tym, że w klasie ekspozycji XF4 zaleca się stosowanie cementu hutniczego CEM III/A o mniejszej zawartości granulowanego żużla wielkopiecowego (<50%) i zazwyczaj w klasie wytrzymałościowej 42,5. Cementy hutnicze posiadają właściwości specjalne: niskie ciepło hydratacji (LH), wysoka odporność na korozyjne oddziaływanie środowisk agresywnych chemicznie (HSR) łącznie z agresją alkaliczną (NA). Szczególnie przydatne są w budowie fundamentów, wykonywaniu betonów masywnych, zapór wodnych, oczyszczalni ścieków, obiektów morskich i do prac budowlanych w górnictwie. Cement hutniczy CEM III/A,B 42,5 (R,N) może być stosowany w produkcji prefabrykatów i galanterii betonowej.
Cement wieloskładnikowy CEM V/A,B	Zakres stosowania uzależniony od zawartości dodatków mineralnych w składzie cementu. Cement CEM V/A może być stosowany praktycznie we wszystkich klasach ekspozycji z ograniczeniem klasy XF3 i XF4. Cement CEM V/B znajduje zastosowanie do wykonywania betonu w klasach ekspozycji X0 oraz XC1 i XC2. Ponadto ze względu na podwyższoną zawartość dodatków mineralnych, cement CEM V/B jest przydatny do wykonywania konstrukcji i elementów narażonych na agresję chemiczną (klasy ekspozycji XA1, XA2, XA3).

Krajowy przemysł cementowy produkuje cementy portlandzkie CEM I oraz cementy z dodatkami mineralnymi CEM II – CEM V. Jako dodatki mineralne stosowane są w naszym kraju głównie granulowane żużle wielkopiecowe i popioły lotne oraz w niewielkim zakresie kamień wapienny. W tabeli 1 przedstawiono zakresy i przykłady stosowania poszczególnych rodzajów cementów, zależnie rodzaju produkcji i warunków

oddziaływania środowiska (klasy ekspozycji wg PN-EN 206-1). Natomiast krajowe uzupełnienie normy PN-EN 206-1 zawarte w prPN-B-06265 [5] podaje wskazówki dotyczące zakresu stosowania wszystkich cementów spełniających wymagania PN-EN 197-1 [1] oraz PN-B-19707 [3] (tabela 2).

W określonych przypadkach należy stosować nie tylko cementy powszechnego użytku, ale także cementy o właściwościach specjalnych.

Przy wykonywaniu obiektów hydrotechnicznych, budowie obiektów oczyszczalni ścieków, wykonywaniu fundamentów i filarów mostów oraz pozostałych betonów masywnych należy stosować cementy o niskim cieple hydratacji (LH). Znajomość ilości ciepła wydzielającego się podczas procesu wiązania i twardnienia cementu (proces egzotermiczny) jest bardzo ważna dla praktyki budowlanej. Bezpośrednim następstwem egzotermicznego procesu hydratacji cementu może być wzrost temperatury w dużej masie betonu, co może prowadzić do naprężeń termicznych (dużych różnic temperatur) i powstawania mikrospeknię, następstwem czego zazwyczaj jest obniżona trwałość betonu [6, 7]. Ciepło hydratacji wybranych cementów przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Ciepło hydratacji wybranych cementów

Znajomość termiki procesu hydratacji cementu jest także ważna przy wykonywaniu betonu w warunkach obniżonej lub podwyższonej temperatury zewnętrznej. W okresach chłodniejszych (jesień – zima) należy stosować cementy charakteryzujące się wyższym ciepłem hydratacji, a latem (wysoka temperatura) cementy o niższym cieple hydratacji, np. cementy z wyższą zawartością dodatków mineralnych (CEM II – CEM V).

Tabela 2 – Zakresy stosowania cementów zgodnych z EN 197-1 do produkcji betonu ze względu na korozję zbrojenia (dla danej klasy ekspozycji: X – akceptowany zakres stosowania; O – brak możliwości stosowania)

		Klasy ekspozycji										Interakcja ze strony stali sprężającej							
		Brak zagrożenia agresją środowiska lub zagrożenia korozją		Korozyja zbrojenia				Korozyja zbrojenia											
		X0	Korozyja spowodowana karbonatyzacją				Korozyja wywołana chlorkami pochodzącymi z wody morskiej				X51		X52	X53					
CEM I	A/B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	A/B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	CEM II	A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		B	S-D;S-LL; D-LL; S-P;S-V;D-P; D-V; P-V; P-LL;V-LL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
			S-D	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
S-P;D-P			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
S-V;D-V;P-V;			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
S-LL;D-LL; P-LL;V-LL;			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
CEM III	A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
	B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
	C	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
	A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
	B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
CEM V	A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
	B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		

Tabela 2 cd. Zakresy stosowania cementów zgodnych z EN 197-1 do produkcji betonu ze względu na agresję wobec betonu (dla danej klasy ekspozycji: X – akceptowany zakres stosowania; O – brak możliwości stosowania)

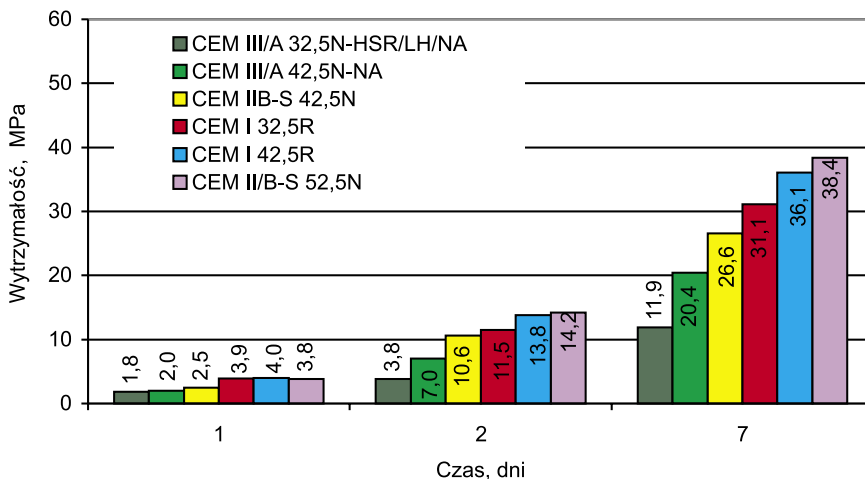
	CEM I	Klasy ekspozycji										Interakcja ze strony stali sprężającej	
		Agresja wobec betonu											
		Zamrażanie/rozmarzanie		Środowisko chemicznie agresywne		Agresja wywołana ścierniem		Agresja wywołana ścierniem		Agresja wywołana ścierniem			
XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2 ^{a)}	XA3 ^{b)}	XM1	XM2	XM3	XM3			
CEM II	A/B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	A/B	X	O	X	O	X	X	X	X	X	X	O	X
	A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	B	X	X	O	O	X	X	X	X	X	X	X	X
	A	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	A	X	O	O	O	X	X	X	X	X	X	X	X
	B	X	X	X	X	O	O	O	O	O	O	O	O
	A	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
CEM III	A	X	O	X	O	X	X	X	X	X	X	X	X
	B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	A	X	O	O	O	X	X	X	X	X	X	X	X
	B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	A	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
CEM IV	A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
CEM V	A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

^{a)} Powyżej klasy ekspozycji XA1 – w przypadku agresji chemicznej wywołanej przez siarczany (z wyjątkiem ich pochodzenia morską) stosuje się cement o wysokiej odporności na siarczany HSR, zgodny z wymaganiami PN-B-19707. Dla wyprodukowania betonu o dużej odporności na siarczany, przy zawartości siarczanów w wodzie agresywnej na poziomie $SO_4^{2-} \leq 1500$ mg/l – zamiast cementu HS można stosować mieszankę z cementu i popiołu lotnego (patrz PN-EN 206-1:2003 rozdz. 5.2.5.2.2).

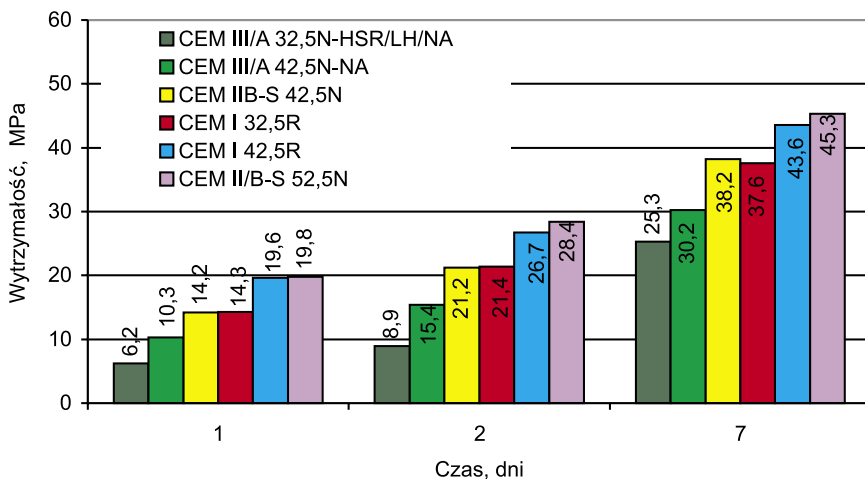
^{b)} Klasa wytrzymałości $\geq 42,5$ lub klasa wytrzymałości $\geq 32,5$ R z udziałem granulowanego żużla wielkopiecowego w ilości ≤ 50 % (masowo).

^{c)} Dopuszcza się stosowanie CEM III/B wyłącznie w przypadku: a) elementów konstrukcji budowlanych w wodzie morskiej jeśli: $w/c \leq 0,45$; minimalna klasa wytrzymałości C35/45 i zawartość cementu ≥ 340 kg/m³; b) trasy najazdu sprzętu mobilnego jeśli: $w/c \leq 0,35$; minimalna klasa wytrzymałości C40/50 i zawartość cementu ≥ 360 kg/m³. W obu przypadkach nie dopuszcza się porów powietrznych.

Wielkość ciepła wydzielającego się w procesie hydratacji ściśle związana jest z wytrzymałością wczesną cementu [8]. Na rysunkach 3, 4 i 5 pokazano przyrost wytrzymałości wczesnej dla wybranych cementów w różnych temperaturach zewnętrznych (+8 i +38°C).

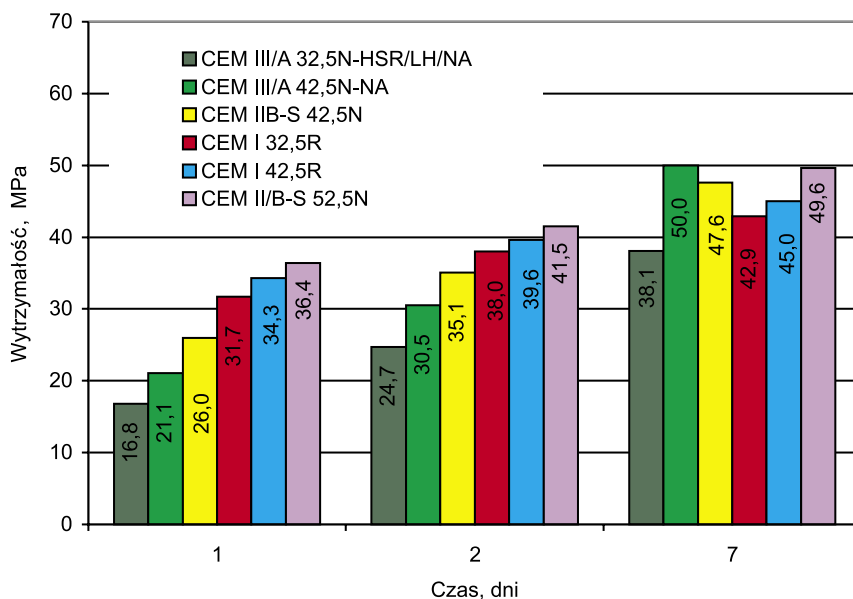


Rys. 3. Wczesna wytrzymałość na ściskanie normowych zapraw cementowych w temperaturze +8°C



Rys. 4. Wczesna wytrzymałość na ściskanie normowych zapraw cementowych w temperaturze +20°C

Norma PN-EN 206-1[1], wprowadza współczynnik wytrzymałości, określający stosunek wytrzymałości 2-dniowej betonu do wytrzymałości 28-dniowej ($f_{cm,2}/f_{cm,28}$). W tabeli 2 pokazano możliwość kształtowania wielkości tego współczynnika poprzez dobór różnych rodzajów cementu (zawartość cementu w składzie betonu – 350 kg/m³ ; w/c=0,5).



Rys. 5. Wczesna wytrzymałość na ściskanie normowych zapraw cementowych w temperaturze +38°C

Tabela 3. Rozwój wytrzymałości betonu w 20°C w zależności od stosowanego cementu

Rozwój wytrzymałości betonu	szybki	umiarkowany	wolny	bardzo wolny
Ocena współczynnika wytrzymałości $f_{cm,2}/f_{cm,28}$ ¹⁾ wg PN-EN 206-1	$\geq 0,5$	$\geq 0,3$ $< 0,5$	$\geq 0,15$ $< 0,3$	$< 0,15$
Cement portlandzki CEM I 52,5R	0,59	-	-	-
Cement portlandzki CEM I 42,5R	0,52	-	-	-
Cement portlandzki żużłowy CEM II/B-S 52,5N	0,51	-	-	-
Cement portlandzki żużłowy CEM II/B-S 42,5N	-	0,40	-	-
Cement portlandzki CEM I 32,5R	-	0,38	-	-
Cement portlandzki popiołowy CEM II/B-V 32,5R – HSR	-	0,34	-	-
Cement hutniczy CEM III/A 42,5N – NA	-	0,31	-	-
Cement hutniczy CEM III/A 32,5N – HSR/LH/NA	-	-	0,17	-
Cement hutniczy CEM III/B 32,5N – HSR/LH/NA	-	-	-	0,14

¹⁾ $f_{cm,2}/f_{cm,28}$ – stosunek średniej wytrzymałości betonu na ściskanie po 2 dniach dojrzewania do średniej wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach dojrzewania.

Stosowanie cementów odpornych na siarczany (HSR) stanowi dodatkowe zabezpieczenie strukturalne betonu przed środowiskiem agresywnym chemicznie. Według wymagań normy PN-EN 206-1 [1] cementy HSR należy stosować w przypadku środowiska chemicznie średnio

agresywnego (klasa ekspozycji XA2) i środowiska chemicznie silnie agresywnego (klasa ekspozycji XA3). Wartości graniczne dla klas ekspozycji dotyczących agresji chemicznej gruntów naturalnej i wody gruntowej są zawarte w normie PN-EN 206-1 (p. 4.1)[1].

Natomiast cementy o niskiej zawartości związków alkalicznych (NA) należy stosować w przypadku, kiedy zamierzamy stosować kruszywa, których reaktywne składniki mogą wchodzić w reakcję z alkalią pochodzącymi z cementu, wywołując zarysowania i spękania betonu, co może prowadzić do całkowitego zniszczenia betonu. W betonie mogą wystąpić trzy formy reakcji alkalia – kruszywa: alkalia – reaktywna krzemionka ze składu kruszywa, alkalia – węglany (dolomit ze skał węglanowych) oraz alkalia – krzemiany [9, 10]. Analizując zawartość tlenków alkalicznych w betonie należy pamiętać także o uwzględnieniu alkaliów zawartych w stosowanych domieszkach chemicznych, wodzie zarobowej, itp. W Polsce jest obligatoryjny wymóg stosowania w budownictwie mostowym cementów portlandzkich CEM I o niskiej zawartości związków alkalicznych (NA), niezależnie od jakości użytego kruszywa. Rozwiązanie takie powoduje dodatkowe koszty i nie zawsze jest uzasadnione technicznie i technologicznie, np. fundamenty mostu, gdzie najodpowiedniejszym spoiwem jest cement o niskim cieple hydratacji (LH). W takim przypadku bardzo efektywnym spoiwem może być cement z wysoką zawartością dodatków mineralnych, np. cement hutniczy CEM III. Efektywniejszym rozwiązaniem, z punktu widzenia trwałości obiektu mostowego, jest stosowanie w budowie mostów (dróg) kruszyw niereaktywnych.

4. Ilość cementu w składzie betonu

Ilość cementu w składzie betonu (minimalna jego zawartość), obok wymagań dotyczących maksymalnej wartości wskaźnika w/c i minimalnej klasy wytrzymałościowej betonu, jest jednym z warunków uzyskania trwałego betonu według wymagań normy PN-EN 206-1 dla określonej klasy ekspozycji (tabela 4).

Tabela 4. Minimalna zawartość cementu w 1 m³ betonu w zależności od klasy ekspozycji

Klasa ekspozycji		min. zawartość cementu, kg
Brak ryzyka korozji lub brak oddziaływania	X0	-
Korozja wywołana karbonatyzacją	XC1	260
	XC2	280
	XC3	280
	XC4	300
Korozja wywołana chlorkami nie pochodzącymi z wody morskiej	XD1	300
	XD2	300
	XD3	320
Korozja wywołana chlorkami pochodzącymi z wody morskiej	XS1	300
	XS2	320
	XS3	340
Agresja mrozowa	XF1	300
	XF2	300
	XF3	320
	XF4	340
Środowisko agresywne chemicznie	XA1	300
	XA2	320
	XA3	360

Wymóg minimalnej zawartość cementu może zostać ograniczony poprzez wprowadzenie do składu betonu dodatków mineralnych, zwłaszcza dodatków typu II. Według normy PN-EN 206-1 [1] przez dodatek należy rozumieć drobno uziarniony składnik dodawany do betonu w celu poprawy pewnych właściwości lub uzyskania specjalnych właściwości. Norma zajmuje się dwoma typami dodatków nieorganicznych:

- dodatki prawie obojętne (typ I),
- dodatki o właściwościach pucolanowych lub utajonych właściwościach hydraulicznych (typ II).

Ilość możliwych do wprowadzenia do składu betonu dodatków typu I i typu II należy określać na podstawie badań wstępnych (załącznik A do normy PN-EN 206-1 [5]). Norma zaleca określać wpływ dodatków na inne właściwości niż wytrzymałość betonu (przyrost wytrzymałości, skurcz, mrozodporność).

W przypadku dodatków typu II norma wprowadza pojęcie wartości „k”, co umożliwia uwzględnienie dodatków w składzie betonów przez wprowadzenie w miejsce współczynnika wodno-cementowego (w/c), współczynnika:

$$\frac{w}{(c + k \cdot d)}$$

gdzie:

w – zawartość wody, kg

c – zawartość cementu, kg

d – zawartość dodatku: p – popiół lotny, pk – pył krzemionkowy, kg

Współczynnik „k” pozwala także na uwzględnienie dodatku typu II przy ustalaniu minimalnej zawartości cementu. Wielkość współczynnika „k” zależy od rodzaju stosowanego dodatku (popiół lotny, pył krzemionkowy).

Ogólne zasady stosowania dodatków typu II w składzie betonu przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Zasady stosowania dodatków typu II zgodnie z normą PN-EN 206-1

	Rodzaj dodatku	
	popiół lotny	pył krzemionkowy
Maksymalna zawartość dodatku w betonie ¹⁾	popiół lotny/cement ≤ 0,33	pył krzemionkowy/cement ≤ 0,11
Wartość „k”	<ul style="list-style-type: none"> • k= 0,2 dla cementu CEM I 32,5 • k= 0,4 dla cementu CEM I 42,5 i klasy wyższej 	<ul style="list-style-type: none"> • k=2,0 dla w/c ≤ 0,45 • k=2,0 dla w/c > 0,45 z wyjątkiem klas ekspozycji XC i XF, dla których k =1,0
Minimalna zawartość cementu	minimalna zawartość cementu dla danej klasy ekspozycji może zostać zmniejszona o ilość: k x (min. zawartość cementu wg klas ekspozycji -200), kg/m ³ ²⁾	min. zawartość cementu nie powinna być zmniejszona o więcej niż 30 kg/m ³ dla klas ekspozycji, dla których min. zawartość cementu ≤ 300 kg/m ³ ³⁾

¹⁾ W przypadku wyższej zawartości dodatku w betonie, nadmiaru tego nie należy uwzględniać przy obliczaniu współczynnika w/(c + k x d).

²⁾ Zmodyfikowana zawartość cementu i zawartość popiołu musi spełniać warunek: zawartość cementu + ilość popiołu > min. zawartość cementu (wg klas ekspozycji, tabela 4).

³⁾ Zmodyfikowana zawartość cementu i zawartość pyłu krzemionkowego musi spełniać warunek: (cement + k x pył krzemionkowy) > min. zawartość cementu (wg klas ekspozycji, tabela 4).

Krajowe uzupełnienie normy europejskiej PrPN-B-06265[5] rozszerza stosowanie dodatków typu II na cementy portlandzkie wieloskładnikowe CEM II/A z wyjątkiem:

- cementu portlandzkiego popiołowego CEM II/A-V – przy stosowaniu dodatku popiołu lotnego,
- cementu portlandzkiego krzemionkowego CEM II/A-D – przy stosowaniu dodatku pyłu krzemionkowego.

5. Podsumowanie

Właściwy dobór cementu do realizowanej konstrukcji wymaga znajomości jego podstawowych cech jakościowych takich jak: stałość objętości, czas wiązania, szybkość narastania wytrzymałości, egzotermia procesów wiązania i twardnienia, odporność na agresję chemiczną. Użytkownik cementu przy wyborze spoiwa powinien kierować się jego właściwościami użytkowymi oraz faktycznymi warunkami eksploatacji betonu, które określają klasy ekspozycji zawarte w normie PN-EN 206-1.

Biorąc pod uwagę możliwości stosowania poszczególnych rodzajów cementu do klas ekspozycji betonu, w większym stopniu należy korzystać z dostępnej na krajowym rynku szerokiej oferty cementów z dodatkami mineralnymi (CEM II - CEM V). Stosowanie takich cementów jest działaniem korzystnym technologicznie i ekonomicznie. Cementy zawierające dodatki mineralne (CEM II - CEM V) są aktualnie produkowane we wszystkich klasach wytrzymałościowych. Umożliwia to wykonywanie trwałych betonów, również o wysokiej wytrzymałości, zapewniających długotrwałe i bezpieczne użytkowanie obiektów budowlanych.

Literatura

- [1] PN-EN 206-1:2003 Beton – Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność .
- [2] PN-EN 197-1:2002 Cement - Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku.
- [3] EN 197-2:2002 Cement - Część 2: Ocena zgodności.
- [4] PN-B-19707:2003 Cement. Cement specjalny. Skład, wymagania i kryteria zgodności.
- [5] PrPN-B-06265:2004 Krajowe uzupełnienia PN-EN 206-1:2003 Beton – Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
- [6] Kiernożycki W.: Betony masywne. Polski Cement, Kraków 2003.
- [7] Faleńska M., Gajger W.: Doświadczenia ze stosowania cementu CEM III/A przy realizacji podpór mostu Siekierskiego w Warszawie. Konferencja „Beton na progu nowego milenium”. Polski Cement. Kraków, 2000, s. 227 – 238.
- [8] Cementy w ofercie handlowej Górażdże Cement S.A. Rodzaje, właściwości, zastosowanie. Chorula, 2004.
- [9] PN-EN 450:1998 Popiół lotny do betonu. Definicje, wymagania i kontrola jakości.
- [10] Kurdowski W.: Chemia cementu. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa 1991.
- [11] Owsiak Z.: Reakcje kruszyw krzemionkowych z alkaliami w betonie. Ceramika. Polski Biuletyn Ceramiczny. Zeszyt 72. Kraków, 2002.