

dr hab. inż. Zbigniew Giergiczy, prof. nzw. PŚI*

Dobór cementów do klas ekspozycji wg PN-EN 206-1

Znajomość podstawowych właściwości cementu pozwala na jego odpowiedni dobór do określonego zastosowania oraz prowadzenie prac i robót budowlanych na odpowiednim poziomie. Jest istotna nie tylko z technicznego punktu widzenia, ale także ekonomicznego (szersze stosowanie cementów z dodatkami mineralnymi CEM II i CEM III, większa trwałość obiektów budowlanych, mniejsza wadliwość produkowanych elementów itp). Do podstawowych właściwości cementu, których znajomość jest bardzo ważna w praktycznym stosowaniu, można zaliczyć: wodozadržność i początek czasu wiązania; stałość objętości; ciepło twardnienia; wytrzymałość na ściskanie i szybkość jej narastania; odporność na agresję chemiczną.

Zgodnie z PN-EN 206-1:2003 *Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność*, 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 oraz potencjalną reaktywność kruszywa z alkalicznymi zawartymi w składnikach betonu.

Norma PN-B-06265 *Krajowe uzupełnienia PN-EN 206-1:2003 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność* podaje wymagania dotyczące zakresu stosowania cementów spełniających wymagania PN-EN 197-1:2012 *Cement – Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku* oraz krajowej normy na cementy specjalne PN-B-19707:2003 *Cement. Cement specjalny. Skład, wymagania i kryteria zgodności*, w poszczególnych klasach ekspozycji. W tabeli 1 przedstawiono wymagania stawiane betonom w poszczególnych klasach ekspozycji. Zgodnie z PN-EN 206-1 należy oczekiwać, że beton wykonany zgodnie z wymaganiami podanymi w tabeli 1 będzie trwały w środowisku, na które został zaprojektowany, pod warunkiem właściwego ułożenia, zagęszczenia, pielęgnacji, zapewnienia otulenia zbrojenia, zaprojektowania betonowej konstrukcji zgodnie z wymaganiami dla rzeczywistych warunków środowiskowych, eksploatacji konstrukcji w warunkach, na jakie została zaprojektowana oraz przestrzegania właściwej konserwacji. W tabeli 2 przedstawiono zakres i przykłady stosowania poszczególnych rodzajów cementów, w zależności od warunków oddziaływania środowiska na beton (klasy ekspozycji wg PN-EN 206-1).

Zastosowanie cementu

Beton towarowy. Wymagane właściwości stwardniałego betonu w poszczególnych klasach ekspozycji są określone przez projektanta konstrukcji, natomiast właściwości mieszanki

Tabela 1. Klasy ekspozycji i wymagania dotyczące betonu wg PN-EN 206-1

Klasa ekspozycji	Środowisko	Mak. w/c	Min. zawartość cementu [kg]	Min. klasa betonu	Min. napowietrzenie [%]	
Brak ryzyka korozji lub brak oddziaływania	X0	nieagresywne	–	–	C12/15	–
	XC1	suche	0,65	260	C20/25	–
Korozja wywołana karbo-natyzacją	XC2	stałe mokre	0,60	280	C25/30	–
	XC3	umiarkowanie wilgotne	0,55	280	C30/37	–
	XC4	cyklicznie mokre i suche	0,50	300	C30/37	–
	XD1	umiarkowanie wilgotne	0,55	300	C30/37	–
Korozja wywołana chlorkami nie pochodzącymi z wody morskiej	XD2	mokre, sporadycznie suche	0,55	300	C30/37	–
	XD3	cyklicznie mokre i suche	0,45	320	C35/45	–
	XS1	działanie soli zawartych w powietrzu	0,50	300	C30/37	–
Korozja wywołana chlorkami pochodzącymi z wody morskiej	XS2	stałe zanurzenie w wodzie	0,45	320	C35/45	–
	XS3	strefa pływów, roz-bryzgów i aerozoli	0,45	340	C35/45	–
	XF1	umiarkowane nasycenie wodą	0,55	300	C30/37	–
Agresja mrozowa ¹⁾	XF2	umiarkowane nasycenie wodą ze środkami odładzającymi	0,55	300	C25/30	4,0
	XF3	silne nasycenie wodą bez środków odładzających	0,50	320	C30/37	4,0
	XF4	silne nasycenie wodą ze środkami odładzającymi	0,45	340	C30/37	4,0
	XA1	słaba agresja chemiczna	0,55	300	C30/37	–
Środowisko agresywne chemicznie ²⁾	XA2	umiarkowana agresja chemiczna	0,50	320	C30/37	–
	XA3	silna agresja chemiczna	0,45	360	C35/45	–

¹⁾ kruszywo zgodne z PN-EN 12620:2000 o odpowiedniej odporności na zamarzanie/rozmarzanie; ²⁾ powyżej klasy ekspozycji XA1 – w przypadku agresji siarczanowej należy stosować cementy SR i HSR

ki betonowej zależą od rodzaju konstrukcji, techniki układania i zagęszczania oraz warunków transportu. Przystępując do projektowania składu mieszanki betonowej, należy pogodzić te wszystkie czynniki i tak dobrać skład betonu, aby było to działanie optymalne z punktu widzenia ekonomicznego i technicznego. Zaprojektowany beton musi mieć odpowiednią konsystencję utrzymującą się w określonym czasie, wytrzymałość na ściskanie (klasę) i trwałość.

Przy doborze rodzaju cementu uwzględnia się klasę betonu, którą chcemy uzyskać. W przypadku betonów niskich klas wytrzymałościowych (do C20/25) zazwyczaj stosowany jest cement klasy wytrzymałościowej 32,5 (32,5R). Następne py-

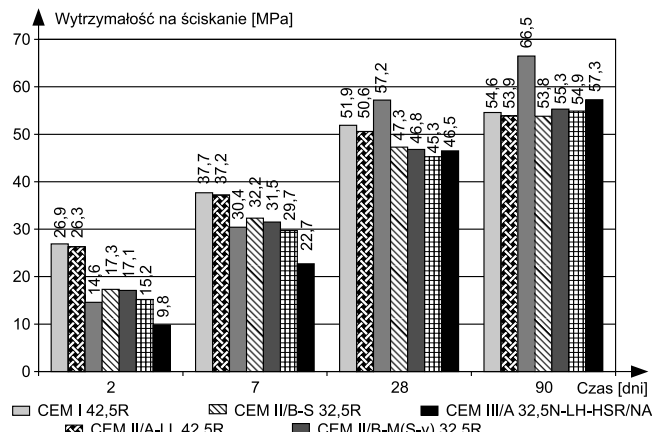
* Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa; Centrum Technologiczne Betotech Sp. z o.o.

Tabela 2. Zakres i przykłady stosowania cementów w poszczególnych klasach ekspozycji [PN-EN 14216:2005]

Rodzaj cementu	Zakres i przykłady stosowania
Cement portlandzki CEM I	przydatny we wszystkich klasach ekspozycji, z wyłączeniem klasy XA2 i XA3 (potrzebne są cementy siarczanoodporne SR); cementy portlandzkie CEM I 42,5N, R i 52,5N, R są szczególnie przydatne w produkcji betonu wysokiej klasy wytrzymałościowej, produkcji wibrowanej kostki brukowej, galanterii betonowej, prefabrykacji oraz w produkcji pokryć dachowych
Cement portlandzki żuźlowy CEM II/A,B-S	przydatny we wszystkich klasach ekspozycji, z wyłączeniem klasy XA2 i XA3 (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; polecane są do wykonywania betonów wysokich klas wytrzymałościowych (C40/C50 i wyższych)
Cement portlandzki popiołowy CEM II/B-V 32,5N,R HSR, cement pucolanowy 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 bogata grupa cementów; zakres stosowania uzależniony od składu cementu; cementy zawierające popiół lotny i granulowany żużel hutniczy mają podobny zakres stosowania jak cement portlandzki żuźlowy 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 XA2 i XA3 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 wielkopieczowego (< 50%) i zazwyczaj w klasie wytrzymałościowej 42,5 lub 52,5; cementy hutnicze wykazują właściwości specjalne: niskie ciepło hydratacji (LH), duża odporność na korozyjne oddziaływanie środowisk agresywnych chemicznie (HSR, SR) łącznie z agresją alkaliczną (NA); szczególnie przydatne w budowie fundamentów, zapór wodnych, oczyszczalni ścieków, obiektów morskich oraz wykonywaniu betonów masowych i do prac budowlanych w górnictwie; cement hutniczy CEM III/A 42,5 i 52,5 (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; 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); cement CEM V/A,B wysokich klas (42,5, 52,5) może być z powodzeniem wykorzystywany w produkcji betonów wysokich wytrzymałości oraz prefabrykatów i galanterii betonowej

tanie, jakie sobie stawiamy, to jaki zastosować rodzaj cementu: portlandzki CEM I; portlandzki wieloskładnikowy CEM II, wieloskładnikowy CEM V, a może cement hutniczy CEM III/A, B lub cement pucolanowy CEM IV/A? Z punktu widzenia zasad projektowania nie ma żadnych przeciwwskazań, aby cementami z dodatkami mineralnymi tej samej klasy zastąpić cementy portlandzkie CEM I. Potwierdza to pokazany na rysunku 1 poziom wytrzymałości różnych cementów uzyskany na zaprawach normowych.

Cechą charakterystyczną cementów z dodatkami mineralnymi jest mniejsza gęstość w porównaniu z cementami portlandzkimi CEM I, co w przypadku tego samego dozowania wagowego i tego samego stosunku w/c daje większą objętość zaczynu. W efekcie zmniejsza się tarcie między ziarnami kruszywa, co skutkuje lepszą urabialnością i pompowalnością betonu.



Rys. 1. Wytrzymałość na ściskanie różnych cementów

Beton drogowy i mostowy. Beton stosowany do budowy dróg i mostów, ze względu na warunki pracy tych obiektów, musi charakteryzować się doskonałą jakością. W związku z tym powinien być zaprojektowany z odpowiedniej jakości materiałów (cementu, kruszyw nieaktywnych), prawidłowo wykonany, bardzo dobrze zagęszczony oraz odpowiednio pielęgnowany. Wymagania dotyczące cementu i betonu zawarte w Rozporządzeniu Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej nr 735 z 30 maja 2002 są odmienne i powinny być zmienione z uwzględnieniem tych zawartych w PN-EN 206-1 i doświadczeń innych krajów. W budownictwie mostowym zwłaszcza do wykonywania konstrukcji masowych i narażonych na korozyjne oddziaływanie środowiska (fundamenty, podpory mostów) należy stosować w szerszym zakresie cementy z dodatkami mineralnymi.

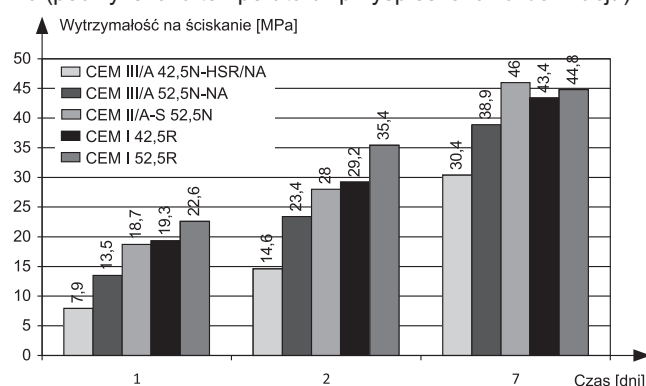
Kostka brukowa i inne drobnowymiarowe elementy betonowe. Obecnie nie zostały określone kryteria doboru cementów do produkcji betonowej kostki brukowej. Ogólnie przyjęte wymagania wynikają przede wszystkim z potrzeby uzyskania wysokiej wytrzymałości wczesnej oraz warunków magazynowania i paletyzowania elementów uformowanych. Biorąc to pod uwagę, zaleca się stosować w produkcji kostki brukowej cementy klas wytrzymałościowych 42,5N; 42,5R, 52,5N; 52,5R.

Elementy wibroprasowane powinny charakteryzować się następującymi zmianami wytrzymałości w czasie:

- wytrzymałość na ściskanie po 16 – 24 h – ok. 20 MPa (możliwość paletowania);
- wytrzymałość po 7 dniach – 35 – 55 MPa (możliwość eksploatacji);
- wytrzymałość normowa po 28 dniach – ≥ 60 MPa lub beton określonej klasy wytrzymałościowej w przypadku innych wymagań (zazwyczaj nie niższy od B 35).

Cementy zalecanych klas wytrzymałościowych charakteryzują się szybkim przyrostem wytrzymałości początkowej (zwłaszcza cementy o określonym poziomie wytrzymałości wczesnej R), wysoką wytrzymałością końcową oraz wysokim ciepłem hydratacji.

W produkcji galanterii betonowej z powodzeniem mogą być stosowane cementy portlandzkie wieloskładnikowe CEM II/A, B i cementy hutnicze w klasie wytrzymałościowej 42,5 i 52,5. W przypadku użycia cementów z dodatkami mineralnymi uzyskuje się podwyższoną trwałość elementów wibroprasowanych oraz zmniejszoną tendencję do powstawania wykwitów węglanowych. Poziom wytrzymałości wczesnej wybranych cementów pokazano na rysunku 2. Stosowanie cementów z dodatkami mineralnymi klasy 42,5 może być szczególnie efektywne w warunkach dysponujących komorami do wstępnego dojrzewania (podwyższona temperatura i przyspieszona karbonizacja).



Rys. 2. Wytrzymałość wczesna cementu na ściskanie

Cement w budownictwie hydrotechnicznym i ekologicznym (oczyszczalnie ścieków). Cement stosowany w budownictwie hydrotechnicznym powinien charakteryzować się:

- niskim ciepłem hydratacji LH lub bardzo niskim ciepłem hydratacji VLH [PN-EN 14216:2005 *Cement. Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów specjalnych o niskim ciepłe hydratacji* (duże masy betonowe, duże powierzchnie);
- podwyższoną odpornością na działanie czynników korozyjnych (cementy SR lub HSR, cementy NA);
- wydłużonym początkiem wiązania (praca w terenie, dalekie odległości, warunki zabudowy).

Cement taki można uzyskać na drodze modyfikacji składu mineralnego klinkieru (ograniczona zawartość C_3S i C_3A) lub przez wprowadzenie do składu cementu znacznej ilości dodatków mineralnych (cementy pucolanowe CEM IV, cementy hutnicze CEM III, cementy wieloskładnikowe CEM V). Właściwe stosowanie tego rodzaju cementów w budownictwie specjalistycznym zapewnia:

- dobrą urabialność mieszanki betonowej i zachowanie właściwości roboczych w długim okresie;
- stabilny przyrost wytrzymałości w długim okresie dojrzewania betonu (w przypadku stosowania cementów obserwuje się przyrost wytrzymałości nawet po kilku latach; końcowe wytrzymałości są znacznie wyższe niż określone wymaganiami norm);
- niskie ciepło hydratacji, co praktycznie wyklucza powstanie rys skurczowych i termicznych w trakcie wiązania i twardnienia betonu;
- wolny czas wiązania (początek wiązania po ok. 150 – 180 minutach; koniec po ok. 240 – 280 minutach);

- dużą odporność na działanie czynników korozyjnych wywołującą przede wszystkim z małej przepuszczalności betonu (wysokiej szczelności), co ściśle powiązane jest ze zmniejszeniem ilości porów kapilarnych w stwardniałym zaczynie cementowym.

W przypadku stosowania cementów z dodatkami mineralnymi (CEM II – CEM V) ważna jest właściwa pielęgnacja betonu, zwłaszcza w początkowym okresie twardnienia, co jest związane z wolniejszą dynamiką narastania wytrzymałości. Istnieje kilka metod pielęgnacji: tradycyjne zraszanie wodą; przykrywanie powierzchni betonu foliami i matami lub stosowanie specjalnych impregnatów powierzchniowych. W celu uzyskania odpowiedniej jakości betonu w konstrukcjach zalecane jest wydłużenie okresu „mokrej” pielęgnacji betonu z cementu o wysokiej zawartości dodatków mineralnych (CEM II – CEM V) o 3 – 4 dni w stosunku do okresu pielęgnacji betonu na cemencie portlandzkim CEM I. Szczególną uwagę należy zwrócić na odpowiednią pielęgnację w okresie jesienno-zimowym (zapewnienie odpowiednio wysokiej temperatury twardniejącej mieszanki betonowej). Dobre efekty przynosi wydłużenie okresu dojrzewania betonu w deskowaniu.

Betony nowej generacji (SCC, BWW). W produkcji betonu samozagęszczalnego (SCC) mogą być stosowane wszystkie rodzaje cementu od CEM I do CEM V. W przypadku cementów z dużą zawartością dodatków mineralnych można wyeliminować lub ograniczyć ilość mikrowypełniacza dodawanego do składu cementu. Powinno to znacznie ułatwiać projektowanie betonu SCC. Klasa cementu zależy od wymaganej klasy betonu, aczkolwiek w praktyce bardzo trudno jest uzyskać beton klasy niższej od C 30/37 (niskie w/c w betonach SCC), ze względu na wymagania dotyczące składu betonu SCC i wysokiej jakości produkowanych cementów.

W betonach wysokowartościowych (BWW) zaleca się stosowanie cementów w klasie wytrzymałościowej co najmniej 42,5. Na rynku polskim, poza cementami portlandzkimi CEM I w klasie wytrzymałościowej 42,5 (N, R) i 52,5 (N, R), dostępne są cementy portlandzkie wieloskładnikowe (CEM II/A, B) i hutnicze (CEM III/A). Ich stosowanie w technologii betonów pozytywnie wpływa na wytrzymałość końcową betonu oraz odporność na korozję chemiczną.

Podsumowanie

Norma PN-EN 197-1 pozwala na produkcję bogatego asortymentu cementów różniących się składem i właściwościami użytkowymi, które powinny być efektywnie wykorzystane w produkcji betonów o różnym przeznaczeniu, prefabrykatów i galanterii betonowej. Właściwe stosowanie cementów wymaga znajomości ich podstawowych cech jakościowych, takich jak: stałość objętości, czas wiązania, szybkość narastania wytrzymałości, egzotermia procesów wiązania i twardnienia, odporność na agresję chemiczną.

Przy wyborze cementu należy kierować się jego właściwościami użytkowymi, a nie wieloletnimi przyzwyczajeniami. W większym stopniu trzeba korzystać z dostępnej na rynku bogatej oferty cementów z dodatkami mineralnymi (CEM II – CEM V), pozwalają one bowiem na osiągnięcie zamierzonych efektów technicznych, a niejednokrotnie przyniosą określone profity ekonomiczne.