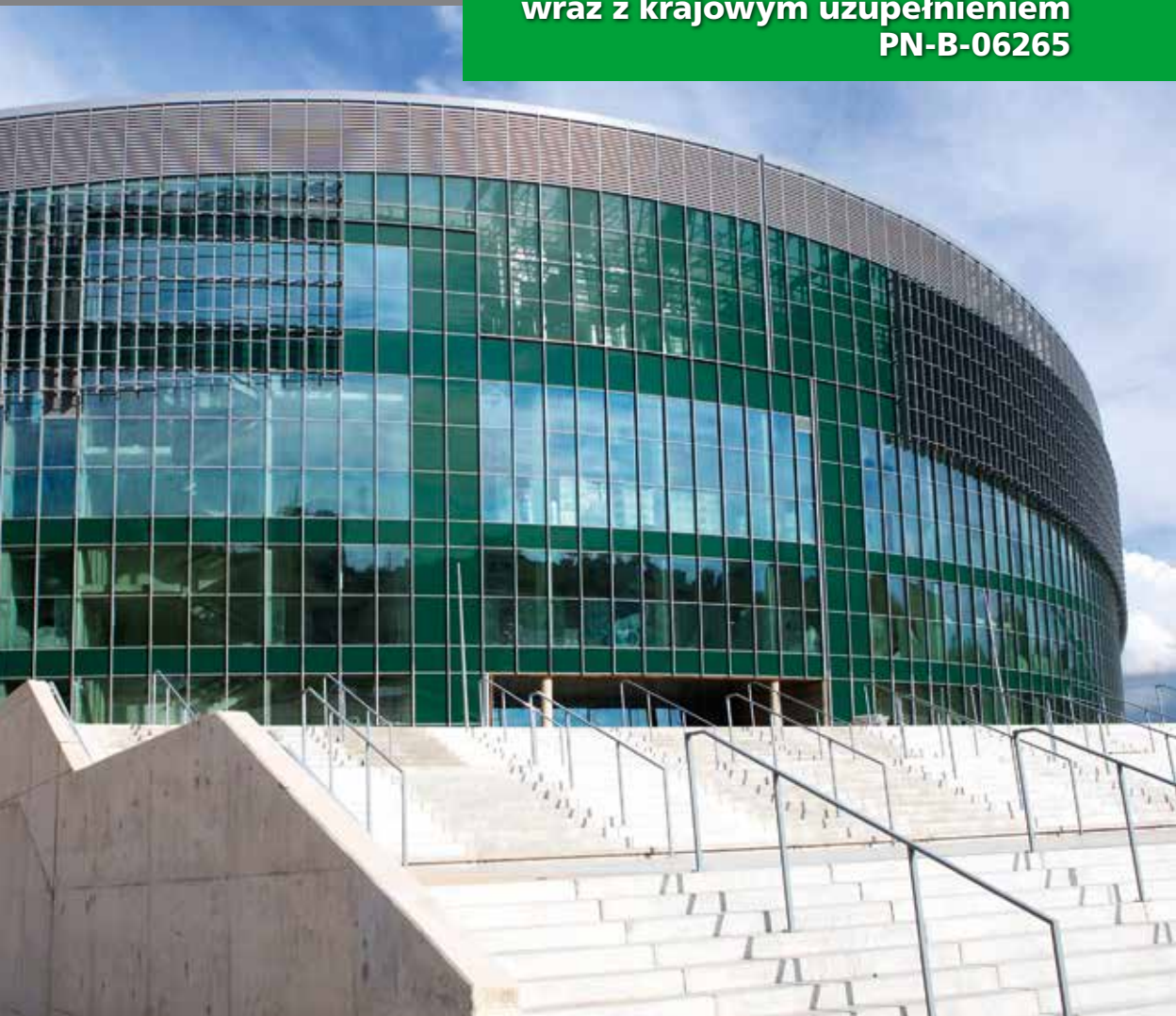


Beton

według normy PN-EN 206
wraz z krajowym uzupełnieniem
PN-B-06265



GÓRAŹDŹE[®]
HEIDELBERGCEMENT Group

Informator został opracowany przez zespół
Działu Pełnomocnika Zarządu ds. Badań i Rozwoju Produktów
Grupy Górażdże

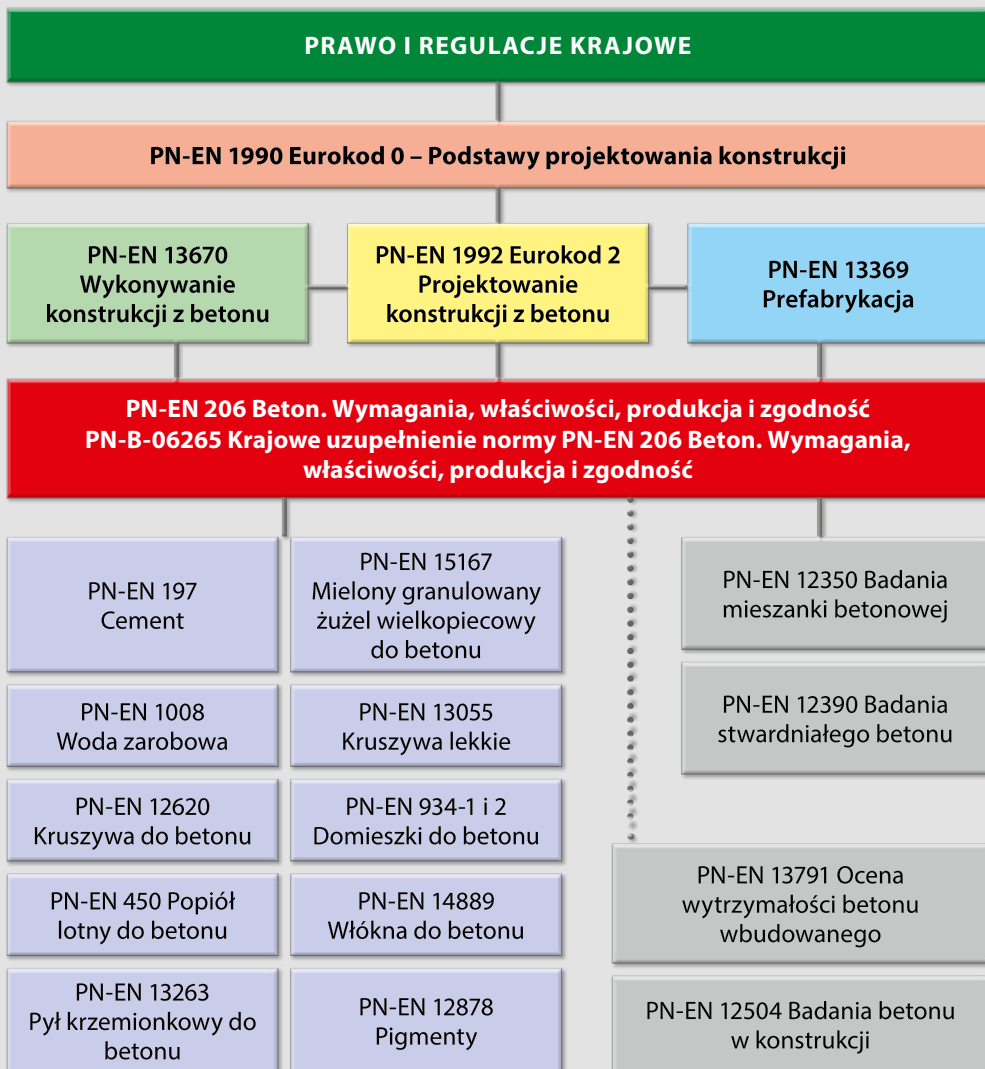
Beton

według normy PN-EN 206+A1:2016
„Beton. Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność”
wraz z krajowym uzupełnieniem PN-B-06265
„Krajowe uzupełnienie PN-EN 206
Beton. Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność”

Opracowano na podstawie
projektu uzupełnienia krajowego
prPN-B-06265:2016-10



**Normy powiązane z PN-EN 206
„Beton. Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność”**



Beton



Beton to kompozyt powstały ze zmieszania cementu, kruszywa grubego i drobnego, wody oraz ewentualnych domieszek, dodatków lub włókien (zbrojenia rozproszonego), który uzyskuje swoje właściwości w wyniku hydratacji cementu.



Mieszanka betonowa – w pełni wymieszany beton, który jest jeszcze w stanie umożliwiającym jego zagęszczenie wybraną metodą

Beton stwardniały – beton, który jest w stanie stałym i który osiągnął pewną wytrzymałość

Beton będący przedmiotem normy PN-EN 206 można podzielić ze względu na:

■ gęstość

- **zwykły** – beton o gęstości w stanie suchym większej niż 2000 kg/m^3 i nieprzekraczającej 2600 kg/m^3 ,
- **ciężki** – beton o gęstości w stanie suchym większej niż 2600 kg/m^3 ,
- **lekki** – beton o gęstości w stanie suchym nie mniejszej niż 800 kg/m^3 i nie większej niż 2000 kg/m^3 .

■ sposób produkcji

- **towarowy** – beton dostarczany jako mieszanka betonowa przez osobę lub jednostkę nie będącą wykonawcą, jak również beton produkowany przez wykonawcę poza miejscem budowy lub beton produkowany na miejscu budowy ale nie przez wykonawcę,
- **wykonywany na miejscu budowy** – beton wyprodukowany na placu budowy przez wykonawcę na jego własny użytek,
- **produkowany w zakładzie prefabrykacji** – beton wytwarzany przez producenta betonowych elementów prefabrykowanych w zakładzie produkcyjnym,

■ sposób zagęszczania

- **zagęszczany** – beton, który po ułożeniu w deskowaniu lub formie poddany jest procesowi ręcznego lub mechanicznego zagęszczania,
- **samozągęszczalny** – beton, który pod własnym ciężarem rozplywa się zagęszcza, wypelnia deskowanie ze zbrojeniem, kanały, ramy, itp., zachowując jednorodność.

Normy PN-EN 206 nie stosuje się do:

- betonu komórkowego,
- betonu spienionego,
- betonu o gęstości < 800kg/m³,
- betonu ogniotrwałego.



Beton powszechnie stosowany materiał budowlany

- przyjazny dla architekta i konstruktora,
- pozwala łączyć formę i funkcję obiektu z konstrukcją i technologią wykonania

- stwarza szerokie możliwości dostosowywania właściwości do warunków wykonywania i użytkowania

- materiał ekologiczny
- materiał uzasadniony ekonomicznie
- beton i jego składniki mogą podlegać kilkukrotnemu recyklingowi

- zminimalizowany wpływ na środowisko
- trwałe w założonym okresie użytkowania
- ograniczone koszty zabiegów konserwacyjnych w okresie użytkowania

- najszerszej stosowany w budownictwie materiał konstrukcyjny
- konkurencyjny wobec innych materiałów budowlanych

Podstawowe założenia normy PN-EN 206 „Beton. Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność”

Norma PN-EN 206 wprowadza nowe podejście do projektowania składu i produkcji betonu oraz oceny jego właściwości technicznych

Głównym założeniem normy PN-EN 206 jest zapewnienie odpowiedniej **trwałości** konstrukcji i elementów betonowych pracujących w określonych warunkach oddziaływania środowiska – zdefiniowanych w normie jako **klasy ekspozycji**.

Według PN-EN 206 przewidywany czas użytkowania konstrukcji betonowej wykonanej zgodnie z wytycznymi zawartymi w normie powinien wynosić, co najmniej 50 lat.

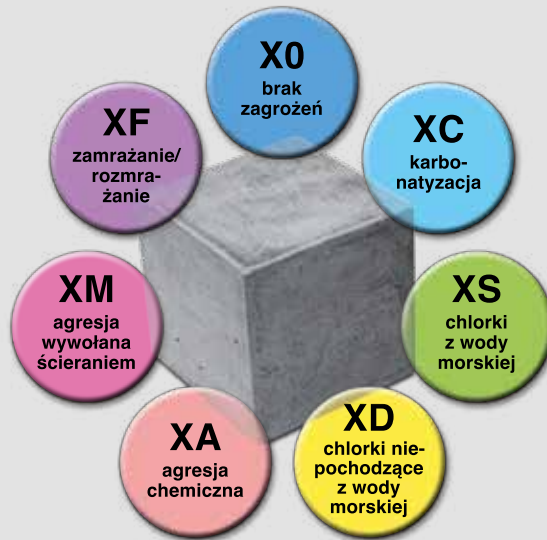
Norma PN-EN 206 szczegółowo precyzuje wymagania dotyczące:

- składników betonu,
- właściwości mieszanki betonowej i betonu stwardniałego,
- ograniczeń dotyczących składu betonu,
- specyfikacji betonu,
- dostaw mieszanki betonowej,
- procedur kontroli produkcji,
- kryteriów zgodności i ich ocen.



Klasy ekspozycji betonu związane z oddziaływaniem środowiska

Klasa ekspozycji – opis oddziaływania środowiska na beton w konstrukcji (rys. 1). Oddziaływania mogą mieć charakter chemiczny lub fizyczny, mogą wpływać na beton lub na zbrojenie, lub inne znajdujące się w nim elementy metalowe, które w projekcie konstrukcyjnym nie zostały uwzględnione jako obciążenia.



Rys. 1. Klasy ekspozycji według PN-EN 206 z krajowym uzupełnieniem PN-B-06265

Wymagania w zakresie składu i ustalonych właściwości betonu są określone dla każdej klasy ekspozycji (tabela 1, 2) i dotyczą:

- maksymalnego współczynnika woda/cement (w/c),
- minimalnej zawartości cementu,
- minimalnej klasy wytrzymałości betonu na ściskanie,

oraz dodatkowo

- minimalnej zawartości powietrza (klasy ekspozycji XF2÷XF4),
- dopuszczonych rodzajów i klas składników (klasy ekspozycji XF1÷XF4, XA2÷XA3; XM1÷XM3).

Spełnienie wymagań dla składu i właściwości betonu dotyczących wartości granicznych, jest równoznaczne z zapewnieniem trwałości betonu, pracującego w określonym środowisku, pod warunkiem:

- prawidłowego doboru klasy ekspozycji,
- prawidłowego ułożenia, zagęszczenia i pielęgnacji betonu,
- zaprojektowania i wykonania odpowiedniej otuliny zbrojenia w betonie,
- stosowania, w czasie eksploatacji, przewidzianej konserwacji konstrukcji betonowej.

Tabela 1. Opis klas ekspozycji i zalecane wartości graniczne składu betonu

Oznaczenie klasy ekspozycji	Opis środowiska Przykłady występowania klas ekspozycji	Wartości graniczne składu betonu				
		Maks. w/c ⁽¹⁾	Min. zawartość cementu ⁽¹⁾ , kg	Min. zawartość cementu przy stosowaniu dodatku typu II ⁽¹⁾ , kg	Min. klasa wytrzymałości betonu	Inne wymagania
Brak ryzyka korozji lub brak oddziaływania X0						
X0	Wszystkie środowiska z wyjątkiem klasy ekspozycji XF, XA i XM – dotyczy betonów niezbrojonych Bardzo suche – dotyczy betonów zbrojonych Beton wewnątrz budynków o bardzo niskiej wilgotności powietrza	—	—	—	C8/10	—
Korozja wywołana karbonatyzacją XC						
XC1	Suche Beton wewnątrz budynków o niskiej wilgotności powietrza lub stale zanurzony w wodzie	0,70	260	250	C16/20	—
XC2	Stale mokre Powierzchnie betonu narażone na długotrwały kontakt z wodą (np. fundamenty)	0,65	280	260	C16/20	—
XC3	Umiarkowanie wilgotne Beton wewnątrz budynków o umiarkowanej wilgotności powietrza lub na zewnątrz osłonięty przed deszczem	0,60	280	260	C20/25	—
XC4	Cyklicznie mokre i suche Powierzchnie betonu narażone na kontakt z wodą, ale nie jak w klasie XC2	0,55	300	280	C20/25	—
Korozja wywołana chlorkami nie pochodzącymi z wody morskiej XD						
XD1	Umiarkowanie wilgotne Powierzchnie betonu narażone na działanie chlorków z powietrza	0,55	300	280	C30/37	—
XD2	Mokre, sporadycznie suche Baseny, betony narażone na działanie wody przemysłowej zawierającej chlorki	0,50	320	300	C30/37	—
XD3	Cyklicznie mokre i suche Elementy mostów narażone na działanie rozpylonych cieczy zawierających chlorki, nawierzchnie dróg i parkingów	0,45	320	300	C35/45	—
Korozja wywołana chlorkami pochodzącymi z wody morskiej XS						
XS1	Działanie soli zawartych w powietrzu Konstrukcje zlokalizowane na wybrzeżu	0,50	300	280	C30/37	—
XS2	Stale zanurzenie w wodzie Elementy budowli morskich	0,45	320	300	C35/45	—
XS3	Strefa pływów, rozbryzgów i aerozoli Elementy budowli morskich	0,45	340	310	C35/45	—

Korozja poprzez zamrażanie/rozmarzanie XF

XF1	Umiarkowane nasycenie wodą Pionowe powierzchnie betonowe narażone na deszcz i zamarzanie	0,55	300	280	C30/37	Kruszywo kat. F2²⁾
XF2	Umiarkowane nasycenie wodą ze środkami odladzającymi Pionowe powierzchnie betonowe konstrukcji drogowych i mostowych narażone na zamarzanie i działanie środków odladzających z powietrza	0,55	300	3)	C25/30	Kruszywo kat. F1²⁾ Napowietrzenie⁴⁾
XF3	Silne nasycenie wodą bez środków odladzających Poziome powierzchnie betonowe narażone na deszcz i zamarzanie	0,50	320	3)	C30/37	Kruszywo kat. F1²⁾ Napowietrzenie⁴⁾
XF4	Silne nasycenie wodą ze środkami odladzającymi Jezdnie dróg i mostów narażone na działanie środków odladzających Strefy rozbrzygu w budowlach morskich narażone na zamarzanie	0,45	340	3)	C30/37	Kruszywo kat. F_{NaCl}⁵⁾ Napowietrzenie^{4,6)}

Agresja chemiczna XA⁷⁾

XA1	Słaba agresja chemiczna Fundamenty narażone na wpływ wód gruntowych Podpory mostowe w nurtach rzek	0,55	300	280	C30/37	—
XA2	Umiarkowana agresja chemiczna Rury i studnie kanalizacyjne, nawierzchnie stacji paliw	0,50	320	300	C30/37	Cementy odporne na siarczany SR/HSR⁸⁾
XA3	Silna agresja chemiczna Kolektory sieci kanalizacyjnej, osadniki w oczyszczalniach ścieków	0,45	360	330	C35/45	

Korozja spowodowana ścieraniem XM

XM1	Umiarkowane zagrożenie ścieraniem Posadzki i nawierzchnie eksploatowane przez pojazdy o ogumieniu pneumatycznym	0,55	300	280	C30/37	M_{DE} wartość deklarowana^{9,10)}
XM2	Silne zagrożenie ścieraniem Posadzki i nawierzchnie eksploatowane przez pojazdy o ogumieniu pełnym oraz wózki podnośnikowe na ogumieniu elastomerowym lub rolkach stalowych	0,55	300	280	C30/37	• frakcja 2/8 mm M_{DE} ≤ 25^{9,10)} • frakcja 8/16 mm M_{DE} ≤ 20^{9,10)}
XM3	Ekstremalnie silne zagrożenie ścieraniem Posadzki i nawierzchnie często najeżdżane przez pojazdy gąsienicowe Filary mostów, powierzchnie przelewów, ściany spustów i sztolni hydrotechnicznych, niecki wypadowe	0,45	320	300	C35/45	• frakcja 2/8 mm M_{DE} ≤ 20^{9,10)} • frakcja 8/16 mm M_{DE} ≤ 15^{9,10)}

1) W przypadku stosowania koncepcji współczynnika k maksymalny współczynnik w/c oraz minimalną zawartość cementu modyfikuje się zgodnie z EN 206 p 5.2.5.2

2) Kruszywo o mrozoodporności odpowiadającej kategorii (F) wg EN 12620.

3) Dopuszcza się stosowanie dodatków typu II, lecz nie jako ekwiwalent dla minimalnej ilości cementu.

4) Zawartość objętościowa powietrza w mieszance betonowej przed jej wbudowaniem zależy od maksymalnego wymiaru ziaren zastosowanego kruszywa i musi wynosić dla kruszywa: do 8 mm ≥ 5,5%; do 16 mm ≥ 4,5%; do 32 mm ≥ 4,0%; do 64 mm ≥ 3,5%.

5) Kruszywo o mrozoodporności w roztworze NaCl (F_{NaCl}) odpowiadającej wartości deklarowanej, na podstawie badania wg EN 1367-6.

6) Beton o konsystencji V0 (≥ 31s) oznaczonej wg PN-EN 12350-3 i w/c ≤ 0,4 może być produkowany bez dodatkowego napowietrzenia.

7) Środowisko agresywne chemicznie należy kwalifikować do odpowiedniej klasy ekspozycji (XA1 do XA3) na podstawie wartości granicznych podanych w tabeli 2.

8) W przypadku, gdy zawartość siarczanów (SO₄²⁻) w środowisku pracy betonu wskazuje na klasy ekspozycji XA2 lub XA3 należy zastosować cement odporny na siarczany (SR) zgodny z EN 197-1 lub cement odporny na siarczany (HSR) zgodny z normą PN-B-19707.

9) Kruszywo o współczynniku ścieralności micro-Deval'a odpowiadającej kategorii (M_{DE}) wg EN 12620.

10) Wymagana właściwa pielęgnacja i obróbka powierzchni.

Klasyfikacja agresywnych chemicznie środowisk dotyczy gruntów naturalnych i wody gruntowej o temperaturze między 5°C a 25°C i tak wolnemu przepływowi wody, że można go określić jako warunki statyczne.

Klasę determinuje najbardziej niekorzystna wartość graniczna właściwości chemicznej. Gdy dwa lub więcej parametrów agresywności wskazują na tę samą klasę, środowisko należy zakwalifikować do następczej wyższej klasy, chyba że dodatkowe badanie dla określonego przypadku udowodni, że nie jest to konieczne.

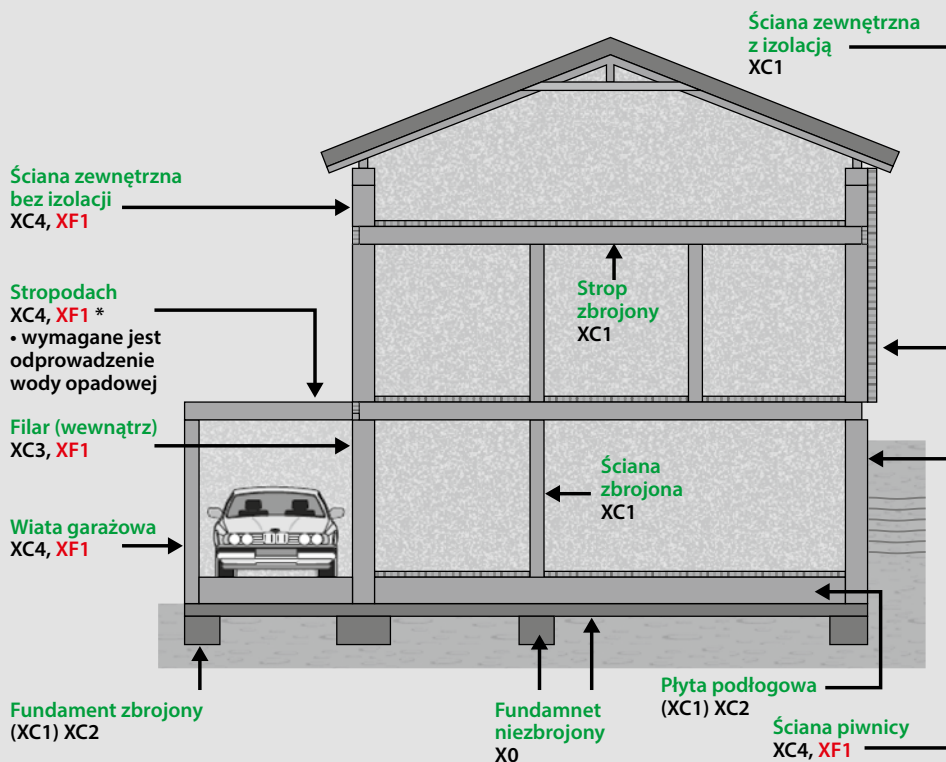
Tabela 2. Wartości graniczne dla klas ekspozycji dotyczących agresji chemicznej XA

Właściwość chemiczna	Metoda badawcza	XA1	XA2	XA3
Woda gruntowa				
SO₄²⁻ mg/l	EN 196-2	≥ 200 i ≤ 600	> 600 i ≤ 3000	> 3000 i ≤ 6000
pH	ISO 4316	≤ 6,5 i ≥ 5,5	< 5,5 i ≥ 4,5	< 4,5 i ≥ 4,0
CO₂ mg/l agresywne	prEN 13577	≥ 15 i ≤ 40	> 40 i ≤ 100	> 100 aż do nasycenia
NH₄⁺ mg/l	ISO 7150-1 lub ISO 7150-2	≥ 15 i ≤ 30	> 30 i ≤ 60	> 60 i ≤ 100
Mg²⁺ mg/l	ISO 7980	≥ 300 i ≤ 1000	> 1000 i ≤ 3000	> 3000 aż do nasycenia
Grunt				
SO₄²⁻ mg/l ¹⁾ całkowite	EN 196-2 ²⁾	≥ 200 i ≤ 3000 ³⁾	> 3000 i ≤ 12000 ³⁾	> 12000 i ≤ 24000
Kwasowość ml/kg	prEN 16502	> 200 Baumann Gully	nie spotykane w praktyce	
1) Grunty gliniaste o przepuszczalności poniżej 10 ⁻⁵ m/s mogą być przesunięte do niższej klasy. 2) Metoda badawcza poleca ekstrakcję SO ₄ ²⁻ kwasem solnym, alternatywnie można wykonywać to wodą, jeżeli są odpowiednie doświadczenia w rejonie, w którym beton jest stosowany. 3) Granicę 3000 mg/kg należy obniżyć do 2000 mg/kg, gdy jest niebezpieczeństwo kumulowania się jonów siarczanowych w betonie w wyniku cyklicznego schnięcia i nawilżania lub podciągania kapilarnego				

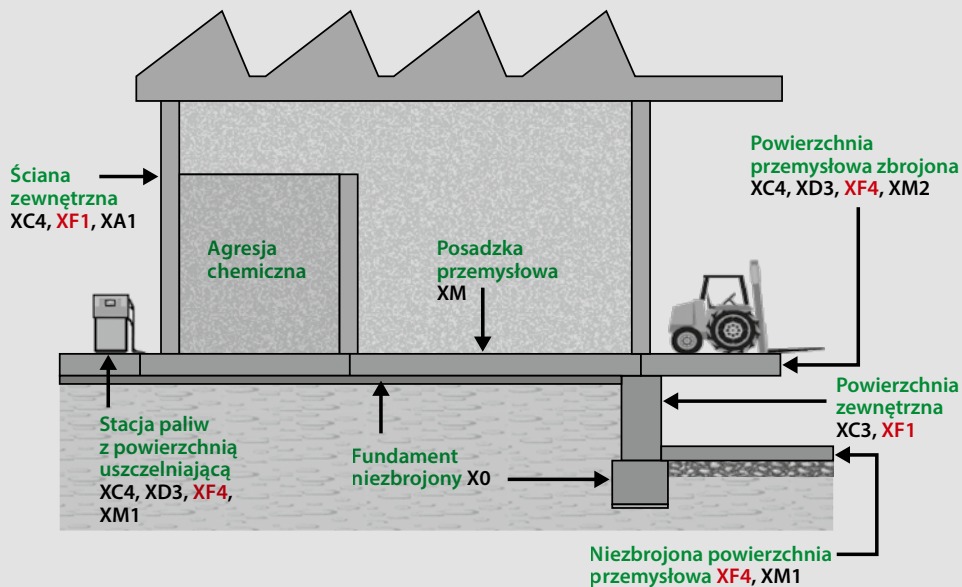
Przykłady klas ekspozycji betonu w obiektach budowlanych przedstawiono na rys. 2-4 (wymagania wynikające z najbardziej niekorzystnych oddziaływań oznaczono czerwonym kolorem).

Beton może być poddany więcej niż jednemu oddziaływaniu, a zatem warunki środowiska, w których znajduje się beton, mogą wymagać określenia za pomocą kombinacji klas ekspozycji, w takim przypadku należy wybrać oddziaływania najbardziej niekorzystne.

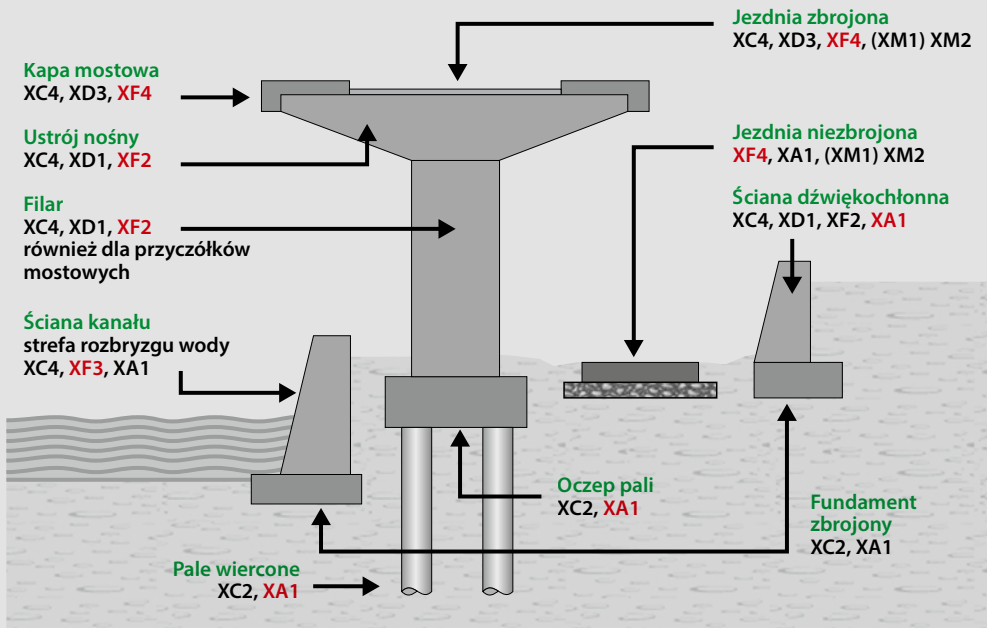
Różne powierzchnie betonowe elementu konstrukcyjnego mogą być narażone na różne oddziaływania środowiska.



Rys. 2. Przykłady klas ekspozycji w budownictwie mieszkaniowym



Rys. 3. Przykłady klas ekspozycji w budownictwie przemysłowym



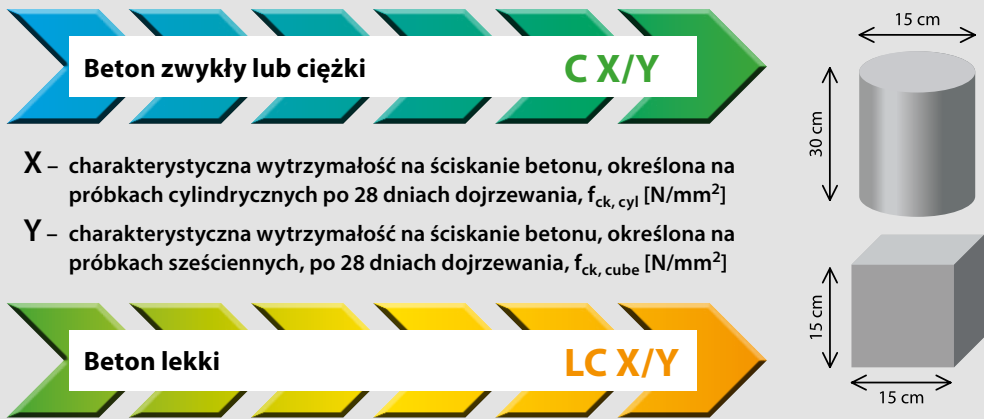
Rys. 4. Przykłady klas ekspozycji w budownictwie komunikacyjnym

Klasy wytrzymałości betonu na ściskanie

Klasa wytrzymałości na ściskanie – klasyfikacja obejmująca rodzaj betonu (zwykły, ciężki lub lekki), minimalną wytrzymałość charakterystyczną oznaczoną na próbkach walcowych (o średnicy 150 mm i wysokości 300 mm) oraz minimalną wytrzymałość charakterystyczną oznaczoną na próbkach sześciennych (o boku 150 mm)

Wytrzymałość charakterystyczna – wartość wytrzymałości, poniżej której może znaleźć się 5% populacji wszystkich możliwych oznaczeń wytrzymałości dla danej objętości betonu.

Z uwagi na poziom wytrzymałości charakterystycznej oznaczonej na próbkach walcowych lub sześciennych (rys. 5) norma PN-EN 206 wyróżnia klasy wytrzymałości na ściskanie betonu dla betonu zwykłego i ciężkiego oraz dla betonu lekkiego (tabela 3). Klasa wytrzymałości betonu na ściskanie opisana jest symbolem literowo – liczbowym według schematu przedstawionego na rys. 5.



Rys. 5. Schemat oznaczania klasy wytrzymałości betonu na ściskanie

Dopuszcza się **stosowanie próbek sześciennych o długości krawędzi 100 mm dla określenia wytrzymałości na ściskanie, jeżeli maksymalny wymiar ziarna kruszywa (D_{\max}) w betonie nie przekracza 16 mm**. Do przeliczenia wytrzymałości uzyskanej na podstawie badania próbek sześciennych o długości krawędzi 100 mm na normowy wymiar próbek należy zastosować następującą zależność:

$$f_{c, \text{cube}} (150 \text{ mm}) = 0,95 \times f_{c, \text{cube}} (100 \text{ mm})$$

Dopuszcza się **stosowanie próbek sześciennych o długości krawędzi 200 mm dla określenia wytrzymałości na ściskanie, jeżeli maksymalny wymiar ziarna kruszywa (D_{\max}) w betonie nie przekracza 63 mm**. Do przeliczenia wytrzymałości uzyskanej na podstawie badania próbek sześciennych o długości krawędzi 200 mm na normowy wymiar próbek należy zastosować następującą zależność:

$$f_{c, \text{cube}} (150 \text{ mm}) = 1,05 \times f_{c, \text{cube}} (200 \text{ mm})$$

Dopuszcza się w szczególnych przypadkach określenie wytrzymałości betonu w terminach wcześniejszych lub późniejszych niż 28 dni lub po przechowywaniu w warunkach specjalnych.

W takim przypadku producent betonu jest odpowiedzialny za podanie na dokumencie dostawy W-Z terminu badania wytrzymałości na ściskanie, uzgodnionego wcześniej z wykonawcą.

Tabela 3. Klasy wytrzymałości betonu na ściskanie wg PN-EN 206

BETON ZWYKŁY LUB CIĘŻKI		
Klasa	$f_{ck,cyl}$	$f_{ck,cube}$
	[N/mm ²]	[N/mm ²]
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60
C55/67	55	67
C60/75	60	75
C70/85	70	85
C80/95	80	95
C90/105	90	105
C100/115	100	115

BETON LEKKI		
Klasa	$f_{ck,cyl}$	$f_{ck,cube}$
	[N/mm ²]	[N/mm ²]
LC8/9	8	9
LC12/13	12	13
LC16/18	16	18
LC20/22	20	22
LC25/28	25	28
LC30/33	30	33
LC35/38	35	38
LC45/50	45	50
LC50/55	50	55
LC55/60	55	60
LC60/66	60	66
LC70/77	70	77
LC80/88	80	88
LC80/88	80	88

Czas równoważny

Badania właściwości stwardniałego betonu, inne niż wytrzymałość, rozpoczyna się w czasie równoważnym dojrzewania betonu zależnym od rodzaju użytego cementu (tabela 4).

Tabela 4. Czas wykonywania badań w zależności od rodzaju zastosowanego cementu

Rodzaj cementu	Czas równoważny
CEM I (R) CEM II/A (R)	28 dni
CEM I (N) CEM II/A (N) CEM II/B (N, R) CEM IV/A	56 dni
CEM III CEM IV/B CEM V	90 dni

Kryteria zgodności dotyczące wytrzymałości na ściskanie

Określenie wytrzymałości na ściskanie na próbkach walcowych lub sześciennych

Metoda A produkcja wstępna

Ilość próbek $n < 15$

$$f_{cm} \geq f_{ck} + 4$$

$$f_{ci} \geq f_{ck} - 4$$

Metoda B produkcja ciągła

Ilość próbek $n \geq 15$

$$f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48 \sigma$$

$$f_{ci} \geq f_{ck} - 4$$

- f_{cm} – średnia z n wyników badania wytrzymałości serii n próbek
 f_{ck} – wytrzymałość charakterystyczna na ściskanie (klasa betonu)
 f_{ci} – pojedynczy wynik badania wytrzymałości z serii n próbek
 σ – odchylenie standardowe

Stosowanie kart kontrolnych

Metoda może być alternatywnie stosowana do oceny zgodności, jeśli warunki produkcji ciągłej są ustalone, a produkcja objęta jest certyfikacją strony trzeciej.

Metoda C

Stosowanie kart kontrolnych

Metoda może być alternatywnie stosowana do oceny zgodności, jeśli warunki produkcji ciągłej są ustalone, a produkcja objęta jest certyfikacją strony trzeciej.

Metoda sum skumulowanych (CUSUM)

- szacowanie wytrzymałości 28-dniowej na podstawie badania wcześniejszej wytrzymałości
- założona wytrzymałość średnia ustalona jest na poziomie $f_c \geq f_{ck} + 1,96 \sigma$
- minimalne odchylenie standardowe $\sigma \geq 3,0 \text{ N/mm}^2$
- zgodność ocenia się na podstawie co najmniej 35 wyników badań $n \geq 35$

Karty Shewharta (zmodyfikowane granice)

- stosowana w celu oceny, czy wytrzymałość charakterystyczna betonu jest niższa niż wartość wymagana
- minimalne odchylenie standardowe $\sigma \geq 3,0 \text{ N/mm}^2$
- niezgodność orzeka się, gdy średnia z wyników wytrzymałości jest niższa niż linia dolna L_1
 $L_1 \geq f_{ck} + q_n \sigma$
- liczba próbek $15 \leq n \leq 35$
- q_n współczynnik zależny od ilości próbek n oraz wybranej wartości granicy średniej jakości po kontroli ($\leq 5,0\%$)

Mrozoodporność betonu

Według krajowego uzupełnienia PN-B-06265 do normy PN-EN 206 ocenę mrozoodporności można przeprowadzić dwiema metodami: metodą zwykłą i w obecności soli odladzających.

Metoda zwykła pozwala na ocenę odporności betonu na działanie mrozu, z uwzględnieniem:

- stopnia wewnętrznego zniszczenia – poprzez oznaczenie wytrzymałości próbek – **średni spadek wytrzymałości próbek Δf_F**

$$\Delta f_F = \frac{f_{F1} - f_{F2}}{f_{F1}} \times 100\%$$

gdzie:

f_{F1} – średnia wytrzymałość na ściskanie próbek porównawczych – niezamrażanych, nasyconych wodą, N/mm²,

f_{F2} – średnia wytrzymałość na ściskanie próbek badanych, po ich ostatnim odmrażaniu, nasyconych wodą, N/mm²,

- destrukcji zewnętrznych – poprzez ocenę wizualną i ubytki masy – **średni ubytek masy Δm_F** ,

$$\Delta m_F = \frac{m_{F1} - m_{F2}}{m_{F1}} \times 100\%$$

gdzie:

m_{F1} – średnia masa próbek przed ich pierwszym zamrażaniem, w stanie nasycenia wodą, kg,

m_{F2} – średnia masa próbek po ich ostatnim odmrażaniu, w stanie nasycenia wodą, kg.

Cykliczność badania metodą zwykłą polega na kolejnym zamrażaniu całej próbki w powietrzu i odmrażaniu jej w wodzie, okres trwania pełnego cyklu wynosi co najmniej 6 godzin. Mrozoodporność betonu określona jest stopniem mrozoodporności – tabela 5.

Tabela 5. Stopnie mrozoodporności betonu

Wskaźnik N*	Stopień mrozoodporności
do 25	F25
26-50	F50
51-75	F75
76-100	F100
101-150	F150
151-200	F200
ponad 200	F300

* Wskaźnik N odpowiada liczbie przewidywanych lat użytkowania konstrukcji. W przypadku, gdy beton narażony jest na kapilarne podciąganie wody, wskaźnik należy zwiększyć o 50, natomiast jeżeli znajduje się w strefie wahań poziomu wody lub środków rozmrażających – zwiększyć o 100.

Stopień mrozoodporności betonu jest osiągnięty, gdy:

- próbki nie wykazują pęknięć,
- łączna masa ubytków betonu nie przekracza 5% masy próbek przed rozpoczęciem cyklu zamrażania/rozmarzania,
- obniżenie wytrzymałości na ściskanie w stosunku do wytrzymałości próbek niezamrażanych nie jest większe niż 20%.

Metoda oceny mrozoodporności w obecności soli odladzających polega na poddaniu powierzchni próbki betonowej cyklicznemu zamrażaniu/rozmarzaniu pod warstwą wody dejonizowanej grubości 3mm, bądź 3% roztworu chlorku sodu NaCl. Ocenie podlega ilość materiału, który uległ złuszczeniu z badanej powierzchni, po 56 cyklach zamrażania/rozmarzania – tabela 6.

Tabela 6. Kryteria odporności betonu na cykle zamrażania/odmrażania w obecności soli odladzających

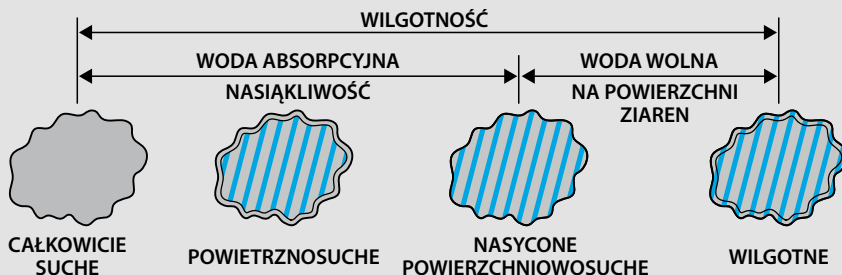
Kategoria	Ubytek masy po 28 cyklach (m_{28})	Ubytek masy po 56 cyklach (m_{56})	Stopień ubytku m_{56}/m_{28}
FT 0	brak wymagań	brak wymagań	brak wymagań
FT 1	wart. średnia $\leq 1,0 \text{ kg/m}^2$ *)	brak wymagań	brak wymagań
FT 2	wart. średnia $\leq 0,5 \text{ kg/m}^2$	wart. średnia $\leq 1,0 \text{ kg/m}^2$ *)	≤ 2
*) każdy pojedynczy wynik $\leq 1,5 \text{ kg/m}^2$			

Współczynnik woda/cement (w/c)

Zgodnie z definicją normy PN-EN 206 **współczynnik woda/cement** jest to stosunek efektywnej zawartości masy wody do zawartości masy cementu w mieszance betonowej.

Efektywna zawartość wody to różnica między całkowitą ilością wody w mieszance betonowej a ilością wody zaabsorbowaną przez kruszywo.

W praktyce ilość wody na ziarnach kruszywa wyznacza się jako różnicę pomiędzy ilością wody wynikającą z wilgotności i nasiąkliwości – rys. 6.

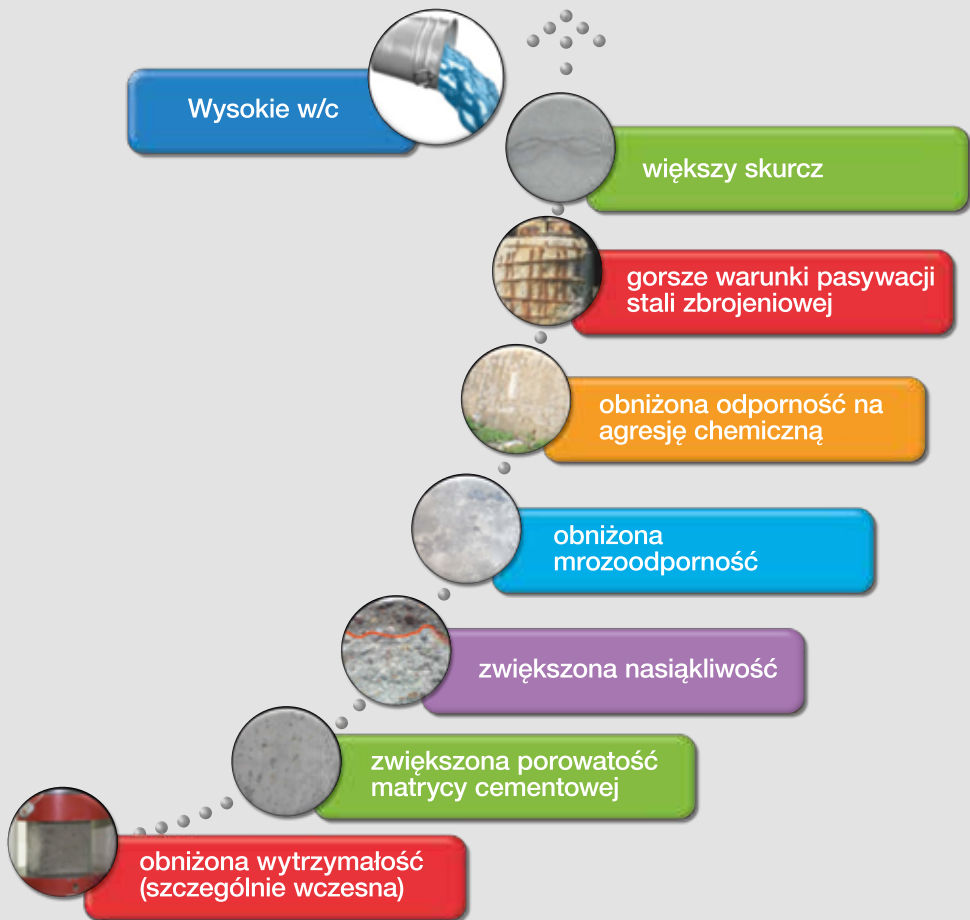


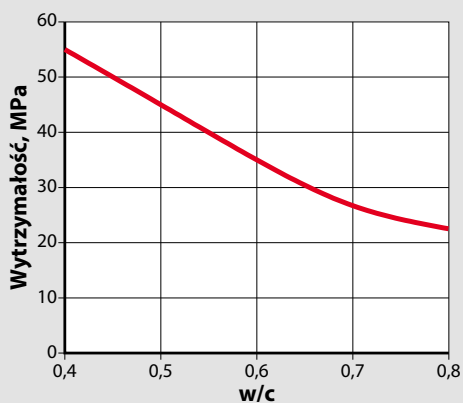
Rys. 6. Zawartość wody w kruszywie

Obliczając współczynnik w/c należy uwzględnić:

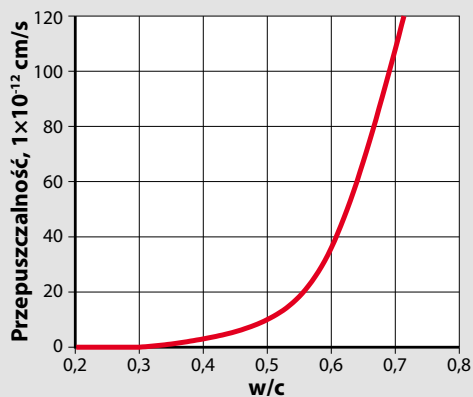
- ilość wody wynikającą z receptury mieszanki betonowej, pomniejszoną o wodę zawartą na ziarnach kruszywa,
- domieszki chemiczne w postaci płynnej, jeśli ich ilość przekracza 3 l/m³ betonu.

Negatywne skutki zbyt wysokiego współczynnika w/c w betonie – rys. 7–9.

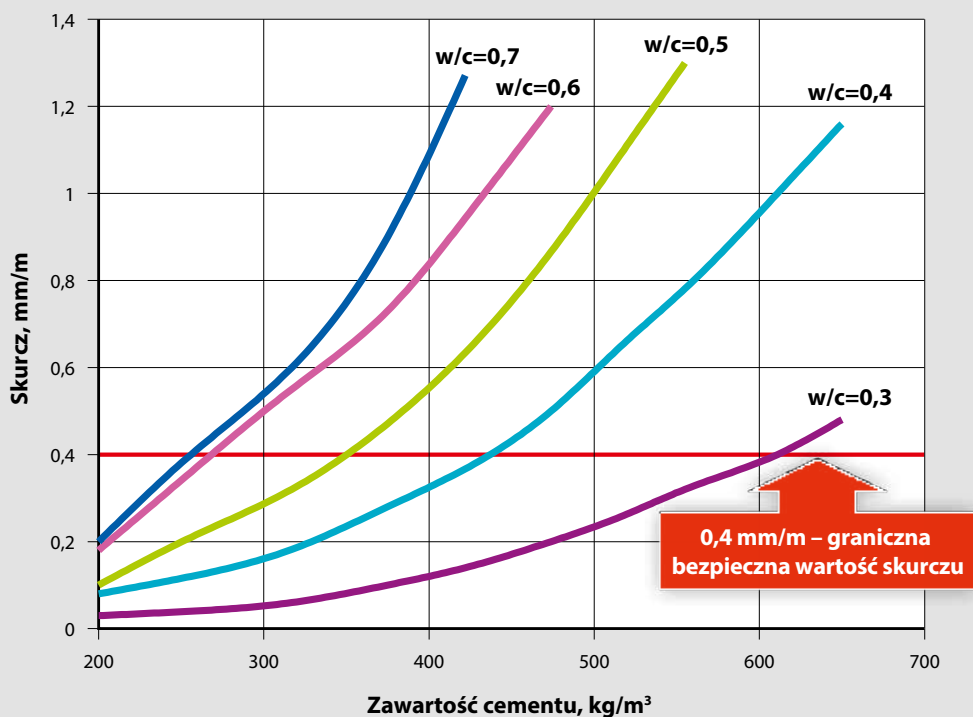




Rys. 7. Wpływ współczynnika w/c na wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach twardnienia



Rys. 8. Wpływ współczynnika w/c na przepuszczalność betonu po 28 dniach twardnienia

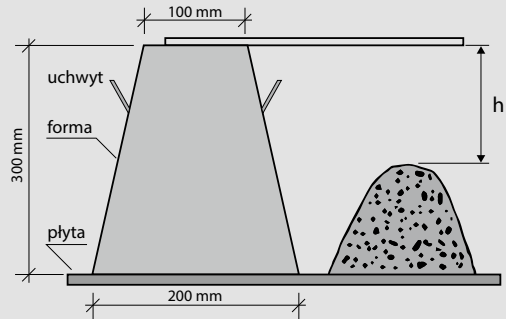


Rys. 9. Wpływ współczynnika w/c na skurcz betonu

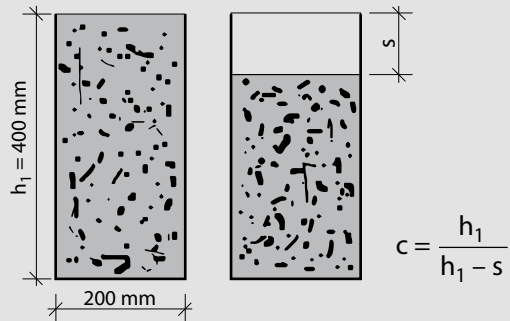
Klasy konsystencji

Norma PN-EN 206 wraz z krajowym uzupełnieniem PN-B-06265 wyróżnia pięć metod określania klas konsystencji (tabela 7), tj.:

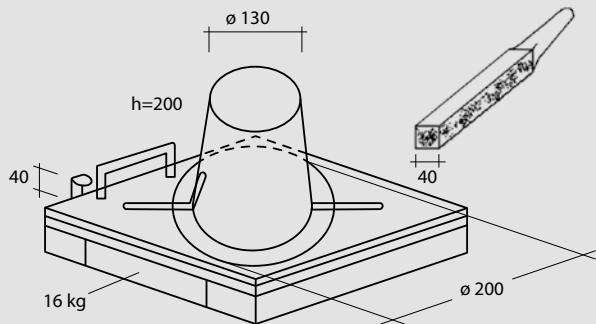
- metodę opadu stożka wg PN-EN 12350-2,



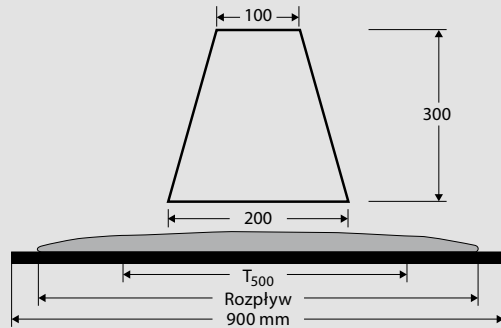
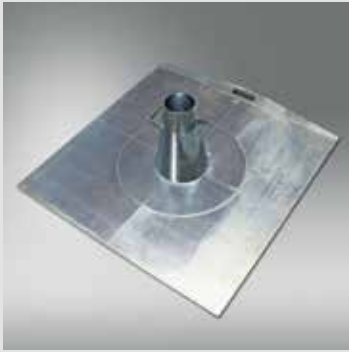
- metodę stopnia zagęszczalności wg PN-EN 12350-4,



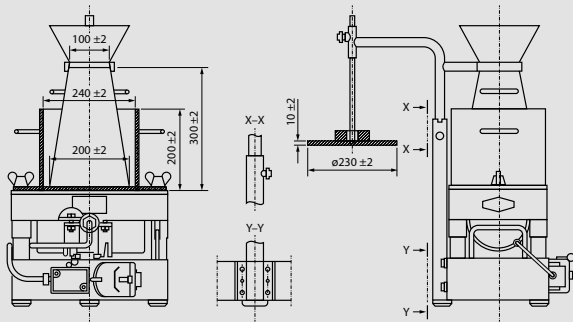
- metodę stolika rozptylowego wg PN-EN 12350-5,



- metodę rozplywu stożka wg PN-EN 12350-8 (dla mieszanek betonów samozagęszczalnych SCC),



- metodę Vebe wg PN-EN 12350-3



Norma PN-EN 206 wraz z uzupełnieniem krajowym PN-B-06265 dopuszcza metody specjalne określania konsystencji, uzgodnione przez specyfikującego i producenta, w odniesieniu betonów do specjalnych zastosowań betonu, np. dla mieszanek wilgotnych.



Tabela 7. Klasy konsystencji mieszanki betonowej

Metoda	Klasa konsystencji	Wartości graniczne	
Opad stożka zgodnie z PN-EN 12350-2	S1	10–40	mm
	S2	50–90	
	S3	100–150	
	S4	160–210	
	S5	≥220	
Stopień zagęszczalności zgodnie z PN-EN 12350-4	C0	≥ 1,46	-
	C1	1,45–1,26	
	C2	1,25–1,11	
	C3	1,10–1,04	
	C4 ^{a)}	< 1,04	
Średnica rozplywu zgodnie z PN-EN 12350-5	F1	≤ 340	mm
	F2	350–410	
	F3	420–480	
	F4	490–550	
	F5	560–620	
	F6	≥630	
Rozplyw stożka ^{b)} zgodnie z PN-EN 12350-8	SF1	550–650	mm
	SF2	660–750	
	SF3	760–850	
Metoda Vebe zgodnie PN-EN 12350-3	V0 ^{c)}	≥ 31	s
	V1	30–21	
	V2	20–11	
	V3	10–6	
	V4 ^{c)}	5–3	

a) C4 stosuje się wyłącznie do betonu lekkiego,

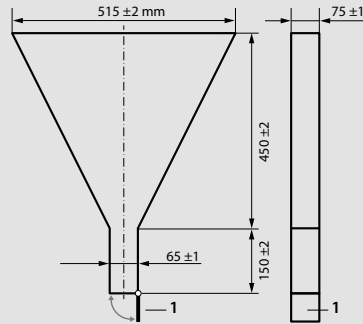
b) Klasyfikacji nie stosuje się do betonu z kruszywem o D_{max} większym niż 40 mm.

c) Ze względu na brak danych dotyczących czułości metody poza pewnymi wartościami, zaleca się jej stosowanie w zakresie czasu Vebe ≤ 30s i > 5s.

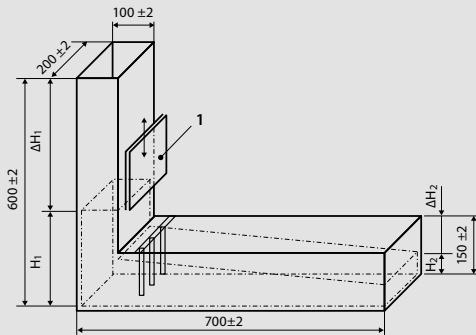
Klasy dodatkowych właściwości mieszanek betonów samozagęszczalnych SCC

Norma PN-EN 206 wyróżnia także klasy właściwości dodatkowych dla mieszanki betonu samozagęszczalnego SCC (tabela 8), tj.:

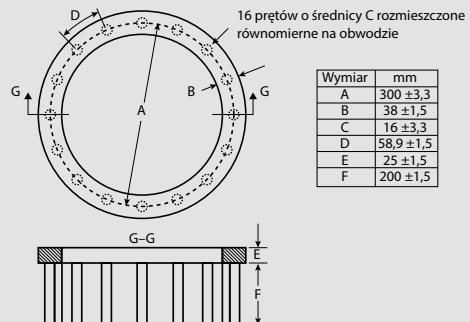
- lepkości wg PN-EN 12350-9,



- przepływalności wg PN-EN 12350-10,



- przepływalności wg PN-EN 12350-12,



- odporności na segregację wg PN-EN 12350-11.

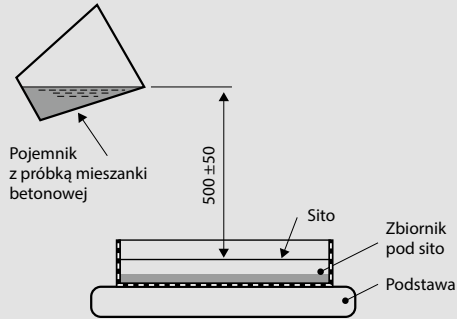


Tabela 8. Klasy dodatkowych właściwości betonów SCC

Metoda	Klasa	Wartości graniczne		Uwagi
Lepkość t_{500} zgodnie z PN-EN 12350-8	VS1	< 2,0	s	kruszywo do betonu $D_{max} \leq 40$ mm
	VS2	$\geq 2,0$		
Lepkość t_v zgodnie z PN-EN 12350-9	VF1	< 9,0	s	kruszywo do betonu $D_{max} \leq 22,4$ mm
	VF2	9,0 – 25,0		
Przepływalność L-box zgodnie z PN-EN 12350-10	PL1	$\geq 0,80$ dla 2 prętów	mm	-
	PL2	$\geq 0,80$ dla 3 prętów		
Przepływalność J-ring zgodnie z PN-EN 12350-12	PJ1	≤ 10 z 12 prętami	mm	kruszywo do betonu $D_{max} \leq 40$ mm
	PJ2	≤ 10 z 16 prętami		
Odporność na segregację zgodnie z PN-EN 12350-11	SR1	≤ 20	%	kruszywo do betonu $D_{max} \leq 40$ mm
	SR2	≤ 15		

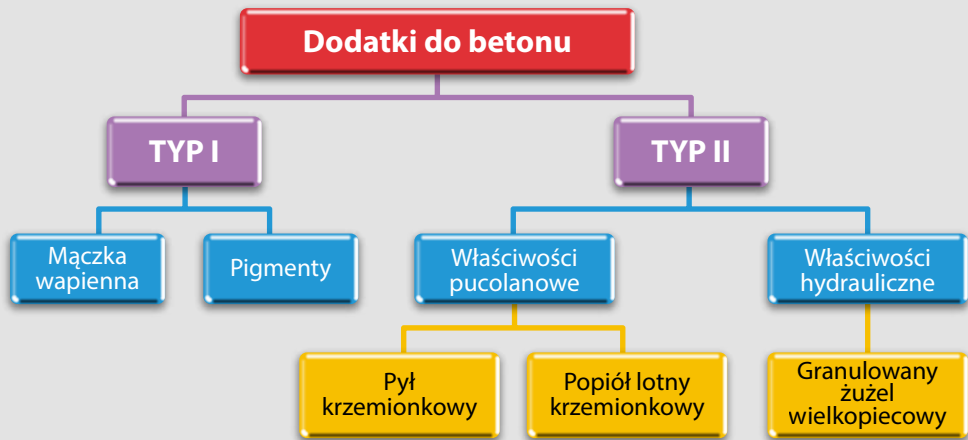
Dodatki do betonu

Dodatek do betonu zgodnie z normą PN-EN 206 to drobnziarnisty, nieorganiczny składnik stosowany w celu poprawy pewnych właściwości betonu lub uzyskania właściwości specjalnych. Dodawany zazwyczaj w ilości powyżej 5 % masy cementu.

Dodatek może w znaczący sposób modyfikować właściwości, zarówno mieszanki betonowej, jak i stwardniałego betonu.

Norma PN-EN 206 wyróżnia dwa rodzaje dodatków do betonu (rys. 10):

- typu I – dodatki prawie obojętne,
- typu II – dodatki o właściwościach pucolanowych lub utajonych właściwościach hydraulicznych.



Rys. 10. Dodatki do betonu wg PN-EN 206

Zasady stosowania dodatków typu II w składzie betonu według normy PN-EN 206 wraz z uzupełnieniem krajowym PN-B-06265

Dodatki typu II można uwzględnić w składzie betonu ramach zawartości cementu oraz wartości współczynnika w/c. Przydatność i ilość dodatków do betonu powinna być oceniana i dobrana na podstawie badań wstępnych. Do ustalenia ilości dodatku w składzie betonu zaleca się stosowanie koncepcji współczynnika k – tabela 9.

Koncepcja współczynnika k opiera się na porównaniu betonu referencyjnego z betonem, w którym część cementu zastąpiona została dodatkiem. Kryterium porównawczym jest trwałość lub dopuszczona jako kryterium zastępcze wytrzymałość betonu.

Koncepcja współczynnika **k** umożliwia uwzględnienie dodatków typu II przez:

- zastąpienie współczynnika woda/cement współczynnikiem woda/(cement + **k** × dodatek),
- spełnienie warunku: (cement + **k** × dodatek) ≥ minimalna zawartość cementu wymagana z uwagi na wyspecyfikowaną klasę ekspozycji.

Tabela 9. Zasady stosowania koncepcji współczynnika k wg PN-EN 206

Rodzaj dodatku typu II	Współczynnik „k”	Maksymalna zawartość dodatku	Uwagi
Popiół lotny krzemionkowy	0,4	popiół/cement $\leq 33\%$	dotyczy cementu CEM I
		popiół/cement $\leq 25\%$	dotyczy cementu CEM II/A
Pył krzemionkowy	2,0	pył/cement $\leq 11\%*$	ilość cementu nie powinna być zmniejszona o więcej niż 30 kg/m^3 w stosunku do minimalnej ilości cementu w danej klasie ekspozycji
	1,0 dla $w/c < 0,45$ w klasach ekspozycji XA, XF		
Granulowany żużel wielkopiecowy	0,6	żużel/cement $\leq 1,0$	dotyczy cementów CEM I i CEM II/A

* dotyczy pyłu krzemionkowego kategorii 1

Koncepcji współczynnika k nie stosuje się w odniesieniu do popiołu lotnego (zgodnego z normą PN-EN 450-1) w celu obniżenia minimalnej zawartości cementu w klasach ekspozycji XF2, XF3 oraz XF4.

Wraz z aktualizacją normy PN-EN 206 dopuszczone zostały jeszcze 2 możliwe koncepcje uwzględnienia dodatków w składzie betonu:

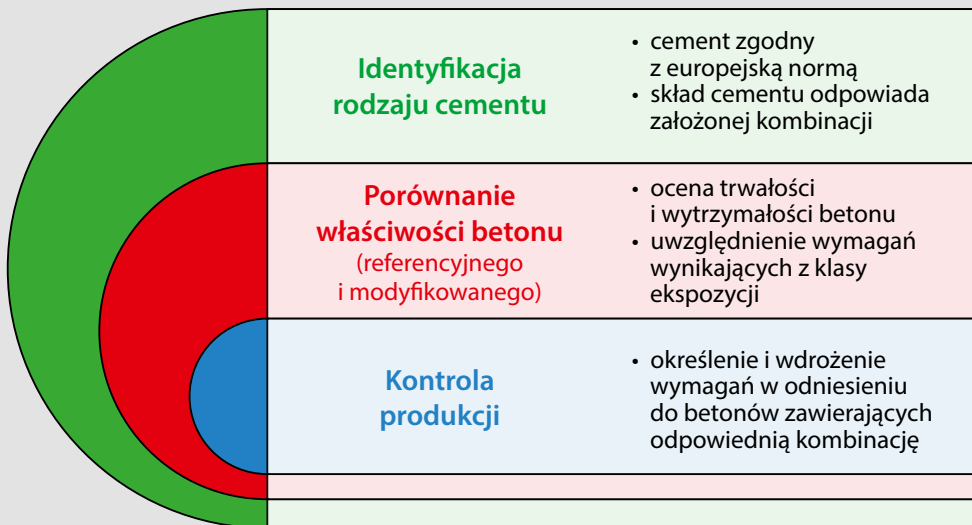
- koncepcja równoważnych właściwości użytkowych (rys. 11),
- koncepcja kombinacji równoważnych właściwości (rys. 12).



Rys. 11. Schemat działania w ramach koncepcji równoważnych właściwości użytkowych

Koncepcja równoważnych właściwości użytkowych opiera się na założeniu, że jeżeli właściwości betonu o modyfikowanym składzie odpowiadają właściwościom betonu referencyjnego, to możliwe jest dopuszczenie zmian wymagań odnośnie minimalnej zawartości cementu oraz maksymalnego współczynnika w/c z uwagi na zastosowane specjalne rodzaje cementów lub dodatków.

Koncepcja kombinacji równoważnych właściwości



Rys. 12. Schemat działania w ramach koncepcji kombinacji równoważnych właściwości

Koncepcja kombinacji równoważnych właściwości zakłada dopuszczenie możliwości zastosowania kombinacji cementu i dodatku (lub dodatków), które w całości mogą być uwzględnione w ramach wymagań dotyczących maksymalnego współczynnika w/c i minimalnej zawartości cementu, określonych w odniesieniu do betonu z uwagi na warunki oddziaływania środowiska (klasa ekspozycji).

Stosowanie dodatków typu II w składzie betonu zgodnie z koncepcją równoważnych właściwości użytkowych i koncepcją kombinacji równoważnych właściwości możliwe jest tylko dla dodatków o określonej przydatności, których pochodzenie i charakterystyki są określone (europejska ocena techniczna, przepisy obowiązujące w miejscu stosowania) przy równoczesnym stosowaniu cementów zgodnych z normą europejską PN-EN 197-1.

Popiół lotny jako dodatek typu II do betonu

- wymagania wg PN-EN 450-1 „Popiół lotny do betonu. Część 1: Definicje, specyfikacje i kryteria zgodności” – tabela 10, 11.

Do produkcji betonu towarowego zgodnego z PN-EN 206 wraz z krajowym uzupełnieniem PN-B-06265 powinno się stosować popiół lotny krzemionkowy kategorii A zgodny z normą PN-EN 450-1.

Tabela 10. Wymagania w zakresie składu chemicznego popiołu lotnego

Składnik		Zawartość składnika [%]	
		Popiół otrzymywany wyłącznie przez spalanie węgla	Popiół otrzymywany wyłącznie przez współspalanie
Straty prażenia:	• kategoria A	≤ 5,0	
	• kategoria B	≤ 7,0	
	• kategoria C	≤ 9,0	
Chlorki		≤ 0,10	
SO ₃		≤ 3,0	
CaO _{wolny}		≤ 1,5 ¹⁾	
CaO _{reaktywny}		≤ 10,0	
SiO ₂ reaktywny		Określenie zawartości nie jest konieczne Należy przyjąć, że wymaganie jest spełnione	≥ 25,0
Sumaryczna zawartość tlenków: SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃			≥ 70,0
Zawartość MgO			≤ 4,0
Całkowita zawartość alkaliów w przeliczeniu na Na ₂ O _{eq}			≤ 5,0
Zawartość rozpuszczalnych związków fosforu w przeliczeniu na P ₂ O ₅			≤ 100 mg/kg
1) Popiół lotny, w którym zawartość wolnego CaO jest większa niż 1,5% masy może być akceptowany pod warunkiem zachowania stałości objętości – próba Le Chateliera ≤ 10 mm wg metodyki podanej w normie PN-EN 450-1			

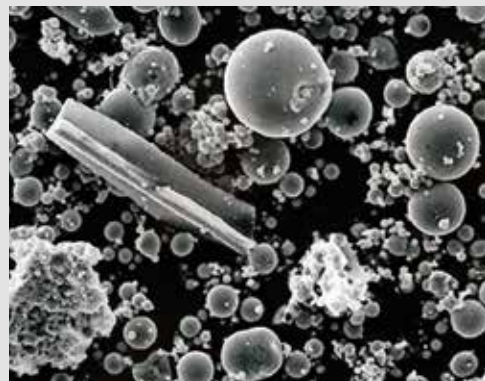
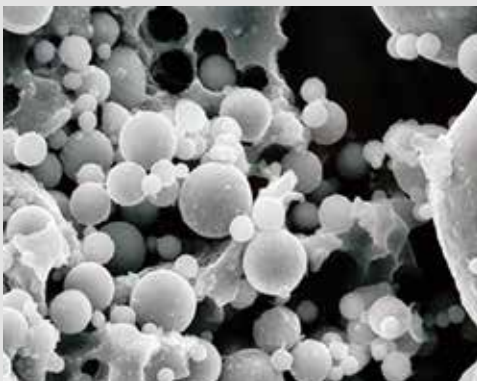


Tabela 11. Wymagania w zakresie właściwości fizycznych popiołu lotnego

Właściwość		Wymagania
Miałość, pozostałość na sicie o oczkach 0,045 mm przy przesiewaniu na mokro wg PN-EN 451-2 [%] • kategoria N • kategoria S		≤ 40 ≤ 12
Wskaźnik aktywności pucolanowej [%]	po 28 dniach po 90 dniach	≥ 75 ≥ 85
Stałość objętości (badanie jest konieczne, gdy zawartość CaO _{wolne} jest wyższa niż 1,5%)		maks. 10 mm
Gęstość objętościowa		maksymalna różnica ± 200 kg/m ³ w stosunku do wartości zadeklarowanej przez producenta
Początek czasu wiązania zaczynu zawierającego 25% popiołu i 75% cementu portlandzkiego CEM I		nie powinien być dwukrotnie dłuższy niż początek wiązania zaczynu wykonanego w 100% z cementu porównawczego
Wodoządnosc* (dotyczy popiołu o miałości w kategorii S)		≤ 95% wodoządnosci cementu porównawczego (CEM I)
* oznaczenie wodoządnosci wg metody z załącznika A normy PN-EN 450-1		

Pył krzemionkowy jako dodatek typu II do betonu

– wymagania wg PN-EN 13263-1 „Pył krzemionkowy do betonu. Część 1: Definicje, wymagania i kryteria zgodności” – tabela 12.

Tabela 12. Wymagania w zakresie właściwości pyłu krzemionkowego

Właściwość	Wymagania	
Powierzchnia właściwa [m ² /g]	od 15 do 35	
Strata prażenia [%]	≤ 4,0	
SiO ₂ [%]	kat. 1 ≥ 85,0	kat. 2 ≥ 80,0
Cl ⁻ [%]	≤ 0,30	
SO ₃ [%]	≤ 2,0	
CaO _{wolny} [%]	≤ 1,0	
Si _{wolny} [%]	≤ 0,4	
Wskaźnik aktywności po 28 dniach [%] (90% cementu CEM I 42,5 i 10% pyłu)	≥ 100	

Granulowany żużel wielkopiecowy jako dodatek typu II do betonu

– wymagania wg PN-EN 15167-1 „Mielony granulowany żużel wielkopiecowy do stosowania w betonie, zaprawie i zaczynie. Część 1: Definicje, specyfikacje i kryteria zgodności” – tabela 13, 14.

Tabela 13. Wymagania w zakresie składu chemicznego dla mielonego granulowanego żużla wielkopiecowego

Składnik	Zawartość składnika [%]
MgO	≤ 18,0
Siarczany	≤ 2,5
Siarczki	≤ 2,0
Straty prażenia, z poprawką na utlenianie siarczków	≤ 3,0
Chlorki ¹⁾	≤ 0,10
Zawartość wilgoci	≤ 1,0

¹⁾ Mielony żużel wielkopiecowy może zawierać więcej niż 0,10% chlorków – w takim przypadku informację o faktycznej zawartości chlorków należy podać na opakowaniu lub dokumentach dostawy.

Tabela 14. Wymagania w zakresie właściwości fizycznych dla mielonego granulowanego żużla wielkopiecowego

Właściwość	Wymagania
Powierzchnia właściwa	≥ 2750 cm ² /g
Początek czasu wiązania ¹⁾	nie powinien być dwukrotnie dłuższy niż początek czasu wiązania zaczynu wykonanego w 100% z masy cementu porównawczego
Wskaźnik aktywności po 7 dniach ²⁾	≥ 45%
Wskaźnik aktywności po 28 dniach ²⁾	≥ 70%

¹⁾ Początek wiązania należy określać dla kombinacji 50% (masowo) mielonego żużla wielkopiecowego i 50% (masowo) cementu

²⁾ Wskaźnik aktywności należy określać jako stosunek wytrzymałości na ściskanie kombinacji 50% (masowo) mielonego żużla wielkopiecowego i 50% (masowo) cementu, do wytrzymałości na ściskanie cementu użytego do badań

Do oznaczenia początku czasu wiązania i wskaźnika aktywności należy stosować cement portlandzki CEM I klasy 42,5 lub wyższej spełniający dodatkowo wymagania: powierzchnia właściwa ≥ 300 m²/g, zawartość glinianu trójwapieniowego C₃A od 6% do 12%, zawartość alkaliów Na₂O_{eq} od 5,0% do 1,2%.

Włókna do betonu

Ogólną przydatność włókien do betonu ustala się zgodnie z normą:

- PN-EN 14889-1 „Włókna do betonu – Część 1: Włókna stalowe – Definicje, wymagania i zgodność”
- PN-EN 14889-2 „Włókna do betonu – Część 2: Włókna polimerowe – Definicje, wymagania i zgodność”

Włókna stalowe – proste lub ukształtowane fragmenty drutu stalowego ciągniętego na zimno, proste lub ukształtowane włókna cięte z arkusza, włókna uzyskiwane ze stopu, włókna skrawane z drutu ciągniętego na zimno oraz włókna skrawane z bloków stalowych.



Włókna polipropylenowe – proste lub ukształtowane fragmenty wytłaczanego kierunkowo i ciętego materiału polimerowego (polipropylen lub polietylen, poliester, nylon, PVA, poliakryl, aramid i ich mieszaniny).

Stosując zbrojenie rozproszone w składzie betonu, zgodnie z normą PN-EN 206 należy zapewnić równomierne rozprowadzenie włókien w całej objętości mieszanki betonowej, a przy tym zachować jej jednorodność, tak by rozmieszczenie włókien zostało zachowane w betonie stwardniałym.

Do betonu, zgodnie z normą PN-EN 206 nie należy stosować włókien z powłoką cynkową, chyba że wykazano, że wytwarzanie się wodoru w betonie jest niemożliwe.



Dobór cementu do betonu

Ogólną przydatność cementu należy ustalać zgodnie z normą:

- PN-EN 197-1 „Cement. Część 1. Skład, wymagania i ocena zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku”
- PN-EN 14216 „Cement – Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów specjalnych o bardzo niskim ciepłe hydratacji”
- PN-B-19707 „Cement. Cementy specjalne. Skład, wymagania i kryteria zgodności”

Ponadto zgodnie z PN-EN 206 przydatność cementu glinowo – wapniowego zgodnego z PN-EN 14647 „Cement glinowo – wapniowy – Skład, wymagania i kryteria zgodności” oraz supersiarczanowego zgodnego z PN-EN 15743 „Cement supersiarczanowy – Skład, wymagania i kryteria zgodności” może być określona w przepisach obowiązujących w miejscu stosowania.

Cement w ofercie handlowej Górażdże Cement S.A.

Cement portlandzki CEM I

- cement portlandzki CEM I 42,5R
- cement portlandzki CEM I 42,5R-NA
- cement portlandzki CEM I 52,5R

Cement portlandzki wieloskładnikowy CEM II

- cement portlandzki żużłowy CEM II/B-S 32,5R-NA
- cement portlandzki żużłowy CEM II/B-S 42,5N-NA
- cement portlandzki żużłowy CEM II/A-S 52,5N
- cement portlandzki wapienny biały CEM II/A-LL 42,5N

Cement hutniczy CEM III

- cement hutniczy CEM III/A 32,5N-LH/HSR/NA
- cement hutniczy CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA
- cement hutniczy CEM III/B 42,5L-LH/SR/NA

Cement wieloskładnikowy CEM V

- cement wieloskładnikowy CEM V/A (S-V) 32,5R-LH/HSR/NA



Rodzaj i klasę cementu do betonu należy dobierać w zależności od:

■ warunków realizacji (wykonania konstrukcji betonowej):

- temperatury otoczenia (betonowanie w warunkach obniżonych lub podwyższonych temperatur),
- warunków dojrzewania, np. obróbka cieplna,
- sposobu pielęgnacji betonu,
- szybkości rozformowania elementów,
- długości transportu mieszanki betonowej,
- objętości betonowanego elementu,

■ wymaganych właściwości betonu:

- klasy wytrzymałości,
- szczelności betonu,
- mrozoodporności,
- potencjalnej reaktywności kruszywa z alkaliom,
- przeznaczenia betonu i warunków środowiska na które będzie narażona konstrukcja.

Zakres stosowania cementów z oferty Górażdże Cement S.A.

Dobór cementu, szczególnie pod względem rodzaju i klasy wytrzymałości zależy od przeznaczenia betonu oraz warunków jego pracy (klasy ekspozycji). W tabelach 15÷17 przedstawiono orientacyjne zakresy stosowania cementów Górażdże Cement S.A.

**Tabela 15. Zakres stosowania cementów powszechnego użytku z oferty
Górażdże Cement S.A. w budownictwie**

Rodzaj cementu	Zakres stosowania
Cement portlandzki CEM I 42,5R CEM I 52,5R CEM I 42,5R-NA	Możliwość stosowania we wszystkich klasach ekspozycji z wyłączeniem klas XA2 i XA3. Cementy portlandzkie CEM I 42,5R i 52,5R są szczególnie przydatne w produkcji betonu o wyższych klasach wytrzymałości na ściskanie, produkcji galanterii betonowej i prefabrykacji oraz w produkcji pokryć dachowych. Spełniają również wymagania Ogólnych Specyfikacji Technicznych (OST) GDDKiA dotyczących betonu konstrukcyjnego i nawierzchniowego w drogowych obiektach inżynierskich.
Cement portlandzki żuźlowy CEM II/B-S 32,5R-NA CEM II/B-S 42,5N-NA CEM II/A-S 52,5N	Możliwość stosowania we wszystkich klasach ekspozycji z wyłączeniem klas XA2 i XA3. Cementy wyższych klas wytrzymałościowych są szczególnie zalecane do produkcji dachówki cementowej, betonowej kostki brukowej, galanterii drogowej oraz elementów prefabrykowanych. Spełniają również wymagania Ogólnych Specyfikacji Technicznych (OST) GDDKiA dotyczących betonu konstrukcyjnego i nawierzchniowego w drogowych obiektach inżynierskich.

Tabela 15. cd

Rodzaj cementu	Zakres stosowania
<p>Cement hutniczy CEM III/A 32,5N-LH/HSR/NA CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA CEM III/B 42,5L-LH/SR/NA</p>	<p>Możliwość stosowania we wszystkich klasach ekspozycji z wyłączeniem klasy XF4. Cementy hutnicze posiadają właściwości specjalne: niskie ciepło hydratacji, wysoką odporność na korozyjne oddziaływanie środowisk agresywnych chemicznie. Szczególnie przydatne są w budowie fundamentów, zapór wodnych, oczyszczalni ścieków, obiektów morskich i prac budowlanych w górnictwie. Zgodnie z wymaganiami OST cement hutniczy CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA może być stosowany do betonu nawierzchniowego dla kategorii ruchu KR1÷KR4 (dolne warstwy nawierzchni; nawierzchnie dwuwarstwowe z tej samej mieszanki; nawierzchnie jednowarstwowe) oraz do betonu konstrukcyjnego z wyłączeniem klas ekspozycji XA2, XA3 oraz XD3, XS3.</p>
<p>Cement wieloskładnikowy CEM V/A (S-V) 32,5N-LH/HSR/NA</p>	<p>Możliwość stosowania we wszystkich klasach ekspozycji z wyłączeniem klas XF. Cement o niskim ciepłe hydratacji, szczególnie przydatny w budowie fundamentów, zapór wodnych, oczyszczalni ścieków oraz betonów masowych.</p>

Tabela 16. Zakres stosowania cementów specjalnych z oferty Górażdże Cement S.A. w budownictwie

Rodzaj cementu	Zakres stosowania	Cement z oferty Górażdże Cement S.A.
<p>Cement o niskim ciepłe hydratacji LH</p>	<p>Konstrukcje masowe, np. płyty i bloki fundamentowe, budowle hydrotechniczne. Wykonywanie obiektów w okresie letnim i podwyższonych temperatur.</p>	<p>CEM III/A 32,5N-LH/HSR/NA CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA CEM III/B 42,5L-LH/SR/NA CEM V/A (S-V) 32,5R-LH/HSR/NA</p>
<p>Cement odporny na siarczany SR / HSR</p>	<p>Konstrukcje i elementy narażone na agresję chemiczną w środowisku siarczanowym – tabela 2, np. zbiorniki w oczyszczalniach ścieków, elementy sieci kanalizacyjnych, fundamenty, budownictwo podziemne, konstrukcje narażone na działanie wody morskiej.</p>	<p>CEM III/A 32,5N-LH/HSR/NA CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA CEM III/B 42,5L-LH/SR/NA CEM V/A (S-V) 32,5R-LH/HSR/NA</p>
<p>Cement niskoalkaliczny NA</p>	<p>Betony produkowane z wykorzystaniem kruszyw potencjalnie reaktywnych alkalicznie</p>	<p>CEM I 42,5R-NA CEM II/B-S 32,5R-NA CEM II/B-S 42,5N-NA CEM III/A 32,5N-LH/HSR/NA CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA CEM III/B 42,5L-LH/SR/NA CEM V/A (S-V) 32,5R-LH/HSR/NA</p>

Tabela 17. Obszary zastosowań cementów zgodnych z EN 197-1 lub PN-B 19707 do produkcji betonu w poszczególnych klasach ekspozycji

Rodzaj cementu	Klasy ekspozycji																			
	Brak zagrożenia agresją środowiska lub zagrożenia korozją	Korozja zbrojenia						Agresja wobec betonu						Interakcja ze stali sprężającą						
		Korozja spowodowana karbonatyzacją			Korozja wywołana chlorkami			Zamrażanie/rozmarzanie			Środowisko chemicznie agresywne				Agresja wywołana ścieraniem					
		XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XS1	XS2	XS3	XF1	XF2		XF3	XF4	XA1	XA2 ¹⁾	XA3 ¹⁾	XM1
CEM I 42,5R CEM I 42,5R-NA CEM I 52,5R	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
CEM II/B-S 32,5R-NA CEM II/B-S 42,5N-NA CEM III/A-S 52,5N	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
CEM III/A 32,5N-LH/HSR/NA CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
CEM III/B 42,5L-LH/SR/NA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
CEM V/A (S-V) 32,5R-LH/HSR/NA ⁴⁾	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗

✓ – akceptowany zakres stosowania, ✗ – brak możliwości stosowania, ● – dopuszczalny zakres stosowania, wymaga uwagi

- 1) W klasach ekspozycji XA2 i XA3 – w przypadku agresji chemicznej wywołanej siarczanami (z wyjątkiem pochodzenia morskigo) – stosuje się cement odporny na siarczany (SR) zgodny z wymaganiami normy EN 197-1 lub cement odporny na siarczany (HSR) zgodny z wymaganiami normy PN-B-19707.
- 2) Klasa wytrzymałości cementu $\geq 42,5$ lub klasa wytrzymałości cementu $\geq 32,5R$ z zawartością granulowanego żużla wielkopłecowego $\leq 50\%$ (masowo), wymagane napowietrzenie
- 3) Dopuszcza się stosowanie cementu hutniczego CEM III/B wyłącznie w przypadku elementów konstrukcji budowlanych narażonych na działanie wody morskiej, wymagane napowietrzenie, przy: $w/c \leq 0,45$; minimalna klasa wytrzymałości betonu C35/45 i zawartość cementu ≥ 340 kg/m³.
- 4) Cementy do wytworzenia betonu według niniejszej normy mogą zawierać w swoim składzie tylko popioły lotne z maksymalnie 5,0% stratą prażenia (LOI).

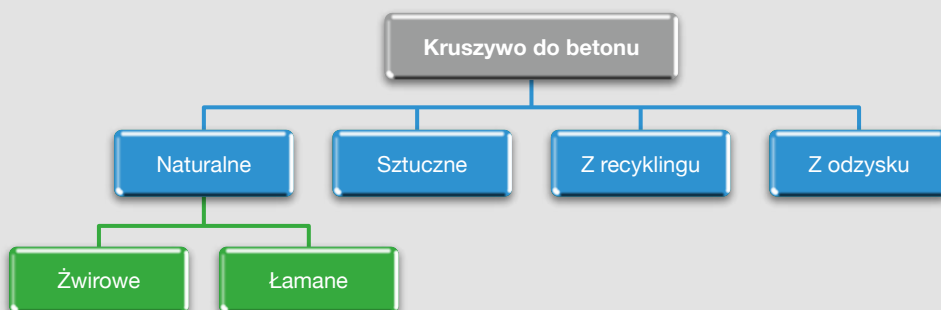
Dobór kruszyw do betonu

Ogólną przydatność kruszywa do betonu należy ustalać zgodnie z normą:

- PN-EN 12620 „Kruszywa do betonu” – dla kruszyw zwykłych i ciężkich
- PN-EN 13055-1 „Kruszywa lekkie. Część 1: Kruszywa lekkie do betonu, zaprawy i rzadkiej zaprawy” – dla kruszyw lekkich

Zgodnie z PN-EN 206 do betonu stosowane mogą być kruszywa (rys. 13):

- naturalne (żwirowe i łamane),
- sztuczne (powstałe podczas obróbki termicznej materiałów ilastych lub surowców pochodzących z ubocznych produktów spalania),
- z recyklingu, np. z rozkruszonego stwardniałego betonu z konstrukcji,
- z odzysku (odzyskane przez wypłukanie lub przekruszenie).



Rys. 13. Kruszywo do betonu

Norma PN-EN 206 wprowadza regulacje w zakresie stosowania w betonie kruszywa z odzysku:

- **kruszywa odzyskanego przez wypłukanie**, tj. kruszywa uzyskanego przez wypłukanie z mieszanki betonowej,
- **kruszywa odzyskanego przez przekruszenie**, tj. kruszywa uzyskanego przez rozkruszenie starego betonu, który nie był wcześniej zastosowany na budowie.

Zasady stosowania kruszywa z odzysku wg PN-EN 206:

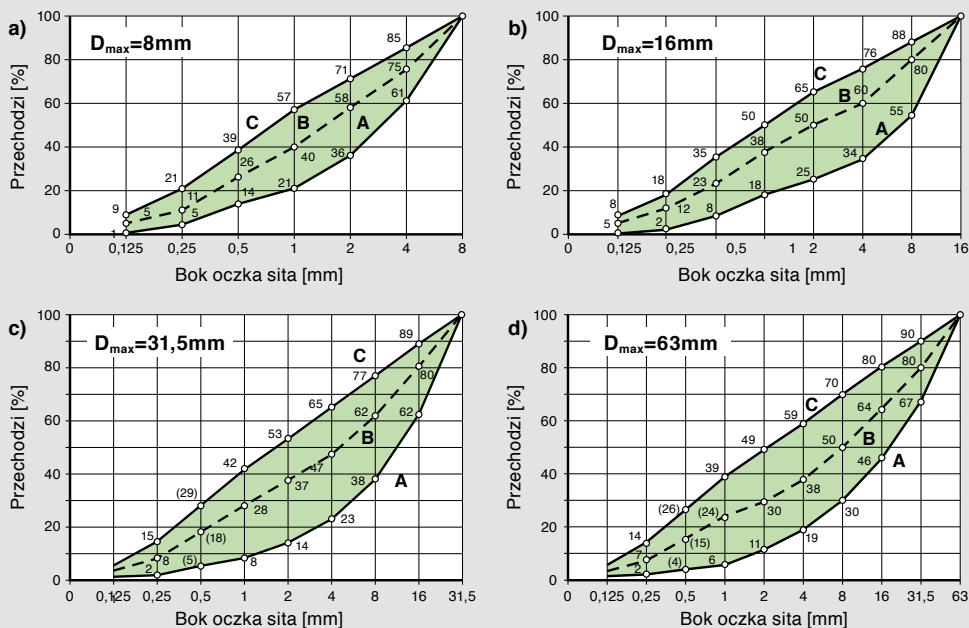
- kruszywo z odzysku może być stosowane wyłącznie przez producenta betonu, z którego pochodzi kruszywo
- jeżeli nie jest rozdzielone na frakcje, może być stosowane w ilościach mniejszych niż 5% całkowitej masy kruszywa
- jeżeli ilość kruszywa odzyskanego przez wypłukanie jest większa niż 5% całkowitej masy kruszywa, kruszywo to powinno być rozdzielone na kruszywo drobne i grube, zgodnie z PN-EN 12620,
- gdy ilość kruszywa odzyskanego przez przekruszenie jest większa niż 5% całkowitej masy kruszywa, kruszywo to powinno być traktowane jak kruszywo z recyklingu.

Rodzaj kruszywa, jego uziarnienie i właściwości należy dobrać biorąc pod uwagę:

- realizację robót,
- przeznaczenie betonu,
- warunki środowiska,
- wszelkie wymagania wobec odstoniętego kruszywa.

Maksymalny wymiar kruszywa należy dobrać uwzględniając grubość otuliny zbrojenia, rozstaw prętów zbrojeniowych oraz minimalną szerokość przekroju.

Uzupełnienie krajowe PN-B-06265 podaje wartości dla krzywych granicznych obszaru zalecanego uziarnienia stosów okruszowych $D_{\max}=8\text{mm}$ (rys. 14a) oraz $D_{\max}=16\text{mm}$ (rys. 14b) dla mieszanek betonowych o konsystencji w klasach S2÷S4. Skład poszczególnych frakcji i kruszywa ustalić należy przez badanie przesiewu zgodnie z normą PN-EN 933-1. W stosunku do D_{\max} dopuszczalne jest występowanie nadziarna zgodnie z kategorią uziarnienia stosowanego kruszywa według normy PN-EN 12620.



gdzie:

zakres poniżej krzywej A → mieszanki gruboziarniste;

zakres pomiędzy krzywymi A–B → mieszanki gruboziarniste – średnioziarniste;

zakres pomiędzy krzywymi B–C → mieszanki średnioziarniste – drobnoziarniste;

zakres powyżej krzywej C → mieszanki drobnoziarniste;

Rys. 14. Krzywe uziarnienia kruszywa w zależności od maksymalnego wymiaru ziaren D_{\max}
a), b) – wg PN-B-06265, c), d) – wg DIN-1045-2

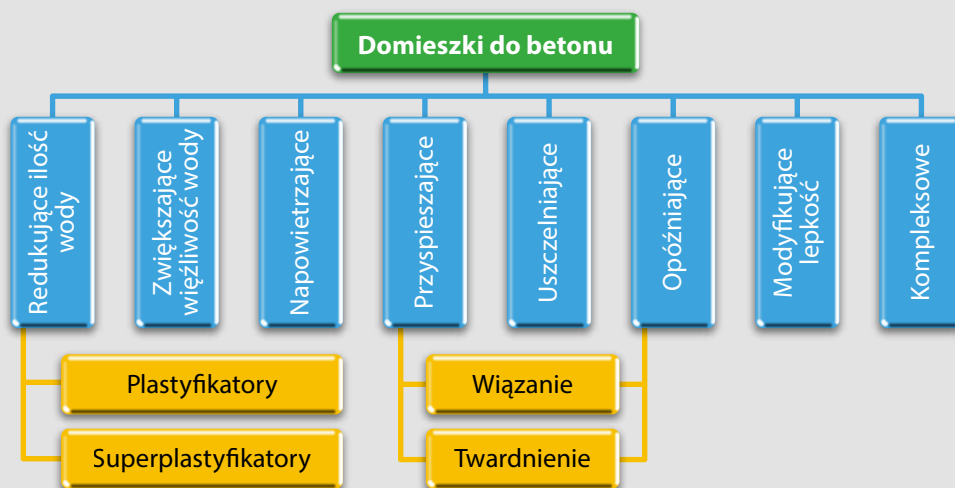
Dobór domieszek do betonu

Ogólną przydatność domieszek należy ustalać zgodnie z normą:

- PN-EN 934-2 „Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu
- Część 2: Domieszki do betonu”

Domieszka do betonu, zgodnie z PN-EN 943-2, jest to substancja dodawana podczas wykonywania mieszanki betonowej, w ilości nie większej niż 5% masy cementu w betonie, w celu zmodyfikowania właściwości mieszanki betonowej i/lub stwardniałego betonu.

Do betonu zgodnie z PN-EN 206, mogą być stosowane domieszki opisane w normie PN-EN 934-2 – rys. 15.



Rys. 15. Klasyfikacja domieszek do betonu wg PN-EN 934-2

Domieszki nieuwzględnione w PN-EN 934-2, np. środki stosowane do mieszanek pompowalnych, powinny spełniać ogólne wymagania normy PN-EN 934-1 „Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu – Część 1: Wymagania podstawowe” i przepisów obowiązujących w miejscu stosowania.

Stosując domieszki chemiczne należy kierować się następującymi zasadami:

- całkowita ilość domieszek nie powinna przekraczać dopuszczalnej ilości zalecanej przez producenta oraz nie powinna być większa niż 50 g/kg cementu (5% masy cementu), chyba że znany jest wpływ większego dozowania na właściwości i trwałość betonu,
- stosowanie domieszek w ilościach mniejszych niż 2 g/kg cementu dopuszcza się wyłącznie w przypadku wcześniejszego ich wymieszania z częścią wody zarobowej,
- jeżeli całkowita ilość domieszek płynnych przekracza 3 l/m³ betonu wodę w nich zawartą należy uwzględnić przy obliczaniu w/c,
- w przypadku stosowania więcej niż jednej domieszki należy sprawdzić kompatybilność (współdziałanie).

Woda zarobowa

Ogólną przydatność wody zarobowej ustala się zgodnie z normą PN-EN 1008.

Jakość wody zarobowej stosowanej do wytwarzania betonu nie może wpływać na czas wiązania, rozwój wytrzymałości betonu i ochronę zbrojenia przed korozją.

Woda pitna uznana jest za przydatną do produkcji betonu, bez konieczności badania. Woda odzyskana z procesów produkcji betonu, tj.:

- woda, która była częścią niewykorzystanej mieszanki betonowej,
- woda, która była użyta do czyszczenia wnętrza betoniarek stacjonarnych, samochodowych i pomp do mieszanek betonowych,
- woda używana do cięcia, szlifowania i obróbki strumieniowej powierzchni betonu,
- woda odzyskana z mieszanki betonowej podczas jej wytwarzania,
- może być stosowana jako woda zarobowa do betonu, jeżeli spełnia wymagania normy PN-EN 1008.

Zgodnie z krajowym uzupełnieniem PN-B-06265 do normy PN-EN 206 do produkcji betonów narażonych na oddziaływanie środowiska w klasie ekspozycji XF nie można stosować wody odzyskanej z procesów produkcji betonu.

Zawartość chlorków w betonie

Zawartość chlorków w betonie jest określona jako procentowa zawartość jonów chloru Cl^- w odniesieniu do masy cementu. Zgodnie z normą PN-EN 206 zawartość chlorków w betonie nie powinna przekraczać wartości dla wybranej klasy – tabela 18.

Tabela 18. Dopuszczalna maksymalna zawartość chlorków w betonie

Zastosowanie betonu	Klasa zawartości chlorków	Maksymalna zawartość Cl^- odniesiona do masy cementu
Bez zbrojenia stalowego lub innych elementów metalowych, z wyjątkiem odpornych na korozję służących do podnoszenia	Cl 1,0	1,0%
Ze zbrojeniem stalowym lub innymi elementami metalowymi	Cl 0,20	0,20%
	Cl 0,40	0,40%
Ze stalowym zbrojeniem sprężającym, bezpośrednio stykającym się z betonem	Cl 0,10	0,10%
	Cl 0,20	0,20%

W celu oznaczenia zawartości chlorków w betonie, należy określić sumę ich udziałów w poszczególnych składnikach betonu (cement, woda, kruszywo, dodatki i domieszki)

Rozwój wytrzymałości betonu w temperaturze +20°C

Rozwój wytrzymałości betonu w temperaturze +20°C określany jest poprzez współczynnik wytrzymałości, czyli stosunek średniej wytrzymałości na ściskanie po 2 dniach dojrzewania ($f_{cm,2}$) do średniej wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach dojrzewania ($f_{cm,28}$) – tabela 19. Właściwość ta jest bardzo istotna, szczególnie z uwagi na określenie długości okresu pielęgnacji betonu. Rozwój wytrzymałości betonu z cementów Górażdże Cement S.A. przedstawiono w tabeli 20.

Tabela 19. Rozwój wytrzymałości betonu

Rozwój wytrzymałości betonu	Ocena współczynnika wytrzymałości $f_{cm,2}/f_{cm,28}$
Szybki	$\geq 0,5$
Umiarkowany	$\geq 0,3$ do $< 0,5$
Wolny	$\geq 0,15$ do $< 0,3$
Bardzo wolny	$< 0,15$

Tabela 20. Rozwój wytrzymałości betonu z cementów Górażdże Cement S.A.

Rodzaj cementu	Współczynnik wytrzymałości $f_{cm,2}/f_{cm,28}$	Rozwój wytrzymałości betonu wg PN-EN 206
CEM I 52,5R EXTRA	0,64	szybki $f_{cm,2}/f_{cm,28} \geq 0,5$
CEM I 52,5R	0,57	
CEM I 42,5R	0,53	
CEM II/A-S 52,5N	0,52	
CEM I 42,5R-NA	0,41	umiarkowany $f_{cm,2}/f_{cm,28} < 0,5$
CEM II/B-S 42,5N-NA	0,40	
CEM II/B-S 32,5R-NA	0,35	
CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA	0,33	
CEM V/A (S-V) 32,5R-LH/HSR/NA	0,31	
CEM III/B 42,5L-LH/SR/NA	0,21	wolny $f_{cm,2}/f_{cm,28} < 0,3$
CEM III/A 32,5N-LH/HSR/NA	0,20	

Specyfikacja betonu

Specyfikacja przekazywana producentowi betonu powinna zawierać zestawienie udokumentowanych wymagań technicznych dotyczących właściwości użytkowych lub składu betonu (rys. 16).

- przeznaczenie betonu,
- warunki pielęgnacji,
- wymiary konstrukcji (wydzielanie ciepła),
- oddziaływanie środowiska, w którym konstrukcja będzie eksploatowana,
- wymagania dotyczące wykończenia powierzchni betonu,
- wymagania dotyczące otulenia zbrojenia i rozstawu prętów zbrojeniowych,
- ograniczenia dotyczące stosowanych składników np. wynikających z klas ekspozycji.

Certyfikacja kontroli produkcji

Uzupełnienie krajowe PN-B-06265 do normy PN-EN 206 wprowadza obowiązek certyfikacji kontroli produkcji betonu produkowanego z przeznaczeniem do zastosowań konstrukcyjnych – tabela 21.

Tabela 21. Wymagania dla producenta i akredytowanej jednostki certyfikującej w zakresie certyfikacji kontroli produkcji

Zamierzone zastosowanie betonu	Status	Wymaganie
do zastosowań konstrukcyjnych	beton produkowany w ramach certyfikowanej kontroli produkcji	Producent prowadzi: <ul style="list-style-type: none">• zakładową kontrolę produkcji,• badania próbek zgodnie z ustalonym planem badań. Akredytowana jednostka certyfikująca wydaje certyfikat zakładowej kontroli produkcji na podstawie: <ul style="list-style-type: none">• inspekcji zakładu produkcyjnego i zakładowej kontroli produkcji,• kontynuacji nadzoru obejmującego inspekcje:<ul style="list-style-type: none">a) zakładu produkcyjnego,b) zakładowej kontroli produkcji,c) badań wraz z oceną zgodności prowadzonych przez producenta,• badań próbek punktowych pobieranych przez jednostkę kontrolującą na etapie oceny wstępnej i kontroli bieżących ^{a),b)}
do pozostałych zastosowań	beton produkowany w warunkach niecertyfikowanej kontroli produkcji	Producent prowadzi: <ul style="list-style-type: none">zakładową kontrolę produkcji,badanie próbek zgodnie z ustalonym planem badań.
Uwagi:	a) plan pobierania i badania próbek oraz kryteria oceny wyników badań próbek punktowych należy przyjąć jak dla badania identyczności b) gdy laboratorium producenta ma akredytację i jest nadzorowane przez jednostkę akredytującą, badania takie można zastąpić wnikliwym nadzorem danych producenta	

Beton



Rys. 16. Specyfikacja betonu projektowanego i recepturowego

Beton do specjalnych robót geotechnicznych

Wymagania dotyczące specyfikacji i zgodności betonu stosowanego do specjalnych robót geotechnicznych odnoszą się do:

- pali wierconych,
- ścian szczelinowych,
- pali przemieszczeniowych formowanych w gruncie,
- mikropali.

Norma podaje wymagania względem składników i właściwości betonu do specjalnych robót geotechnicznych, w tym dla:

- **cementu** – zgodnie z normą PN-EN 206 w betonie do robót geotechnicznych stosować można następujące rodzaje cementów:
 - cementy portlandzkie CEM I
 - cementy portlandzkie żuźlowe CEM II/A-S, CEM II/B-S
 - cement portlandzki krzemionkowy CEM II/A-D
 - cementy portlandzkie pucolanowe CEM II/A-P, CEM II/B-P
 - cementy portlandzkie popiołowe CEM II/A-V, CEM II/B-V
 - cementy portlandzkie łupkowe CEM II/A-T, CEM II/B-T
 - cement portlandzki wapienny CEM II/A-LL
 - cementy portlandzkie wieloskładnikowe CEM II/A-M, CEM II/B-M (S, V, LL)
 - cementy hutnicze CEM III/A CEM III/B CEM III/C
 - cementy pucolanowe CEM IV/A, CEM IV/B
 - cementy wieloskładnikowe CEM V
- **kruszywa** – należy stosować kruszywo otoczkowe o uziarnieniu ciągłym dobierając mniejszą z wartości:
 - do pali wierconych i ścian szczelinowych D_{upper} 32mm i 1/4 odległości między prętami zbrojenia podłużnego,
 - do pali przemieszczeniowych D_{upper} 32mm i 1/3 odległości między prętami zbrojenia podłużnego,
 - do mikropali D_{upper} 16mm i 1/4 odległości między prętami zbrojenia podłużnego,
- **współczynnika w/c** – w/c nie większe niż określone w odniesieniu do specyfikowanych klas ekspozycji lub 0,60 (dobrać należy mniejszą z wartości)
- **właściwości mieszanki betonowej:**
 - konsystencja wyrażona jako założony rozptyw lub opad stożka (tabela 22),
 - wysoka odporność na segregację,
 - odpowiednia plastyczność i dobrą spoistość,
- odpowiednia zdolność do rozptywu,
 - odpowiednia zdolność do zagęszczenia pod wpływem własnego ciężaru,
 - odpowiednia urabialność podczas układania oraz usuwania wszelkich tymczasowych elementów osłonowych.

Tabela 22. Konsystencja mieszanki betonowej (beton do robót geotechnicznych)

Warunki zastosowania	Średnica rozptywu [mm]	Opad stożka [mm]
Beton układany w warunkach suchych	500 ± 30	150 ± 30
Beton układany pod wodą	560 ± 30	180 ± 30
Beton układany w cieczy stabilizującej za pomocą rury wlewowej	600 ± 30	200 ± 30

- zawartości frakcji drobnych:
 - zawartość cementu i frakcji drobnych w betonie do pali wierconych i przemieszczeniowych – tabela 23,
 - zawartość cementu w betonie do ścian szczelinowych – tabela 24.

Tabela 23. Zawartość cementu i frakcji drobnych w betonie do pali wierconych i przemieszczeniowych

Zawartość cementu		
betonowanie w warunkach suchych		≥ 325 kg/m ³
betonowanie przy zanurzeniu		≥ 375 kg/m ³
Zawartość frakcji drobnych		
kruszywo grube	D _{lower} > 8 mm D _{upper} > 8 mm	≥ 400 kg/m ³
kruszywo grube	D _{lower} > 4 mm D _{upper} > 8 mm	≥ 450 kg/m ³

Tabela 24. Zawartość cementu w betonie do ścian szczelinowych

Zawartość cementu	D _{max} [mm]
≥ 350 kg/m ³	32*
≥ 380 kg/m ³	22,4
≥ 400 kg/m ³	16

* zawartość piasku (D ≤ 4mm) powyżej 40% całkowitej masy kruszywa
 * zawartość frakcji drobnych 400÷550 kg/m³

Pielęgnacja betonu

Norma PN-EN 13670 „Wykonywanie konstrukcji betonowych” w wytycznych odnośnie pielęgnacji i ochrony betonu zaleca, aby po zagęszczeniu i wykończeniu powierzchni betonu, bezzwłocznie podać ją pielęgnacji.

Pielęgnację młodego betonu (w warunkach zimowych i letnich) przeprowadza się w celu:

- minimalizacji skurczu plastycznego,
- zapewnienia odpowiedniej wytrzymałości powierzchniowej,
- zapewnienia odpowiedniej trwałości strefy powierzchniowej,
- zabezpieczenia przed szkodliwym działaniem czynników atmosferycznych i zamarzaniem,
- zabezpieczenia przed drganiami, uderzeniami lub uszkodzeniami.

Metody pielęgnacji:

- pielęgnacja na mokro – zraszanie betonu wodą, okrywanie wilgotnymi matami jutowymi lub geowłókniną,
- stosowanie osłon – okrywanie folią lub płytami z materiałów izolacyjnych (wełny mineralnej lub styropianu), wykonanie namiotu ochronnego w miejscu wbudowania betonu
- stosowanie preparatów do pielęgnacji betonu – pokrycie powierzchni świeżego betonu filmem ochronnym preparatu.

Pielęgnację powierzchni betonu należy rozpocząć bezzwłocznie po zakończeniu operacji zagęszczania i wykańczania powierzchni betonu, tam gdzie jest to konieczne.

W razie konieczności ochrony powierzchni betonu przed nadaniem jej ostatecznej tekstury, należy stosować pielęgnację tymczasową.

Wytyczne dotyczące pielęgnacji elementów betonowych zawarte są w normie PN-EN 13670:

- metody pielęgnacji powinny zapewnić niski stopień odparowania wody z powierzchni betonu lub utrzymywać powierzchnie w stanie całkowicie nasyconym,
- w przypadku niebezpieczeństwa wystąpienia skurczu plastycznego, pielęgnację należy rozpocząć przed ukończeniem procesu zagęszczania mieszanki betonowej oraz wykańczania powierzchni elementu,
- jeżeli istnieje niebezpieczeństwo, że beton we wczesnym stadium dojrzewania będzie narażony na agresywne oddziaływanie środowiska, sposoby pielęgnacji muszą być opisane w specyfikacji wykonawczej,
- w przypadku betonów wysokich wytrzymałości oraz betonów samozagęszczalnych należy przedsięwziąć specjalne środki w celu zapobieżenia spękanom w wyniku skurczu plastycznego,
- czas trwania pielęgnacji elementu jest powiązany z rozwojem wytrzymałości w strefie powierzchniowej betonu; określony został poprzez klasy pielęgnacji zdefiniowane jako czas bądź procent wytrzymałości charakterystycznej 28 dniowej, przy którym możliwe jest zakończenie procesu pielęgnacji (tabela 25),
- klasy pielęgnacji powinny być określone w specyfikacji technicznej wykonawczej,
- specjalne wymogi dotyczące pielęgnacji mogą być podane w specyfikacji wykonawczej,

- środki chemiczne do pielęgnacji nie powinny być stosowane na powierzchniach betonowych o specjalnych wymaganiach – chyba że zostanie udowodnione, iż nie mają negatywnego wpływu na proces wykończenia powierzchni,
- temperatura powierzchni betonu nie może być niższa niż 0°C, do momentu gdy strefa powierzchniowa osiągnie wytrzymałość min. 5 MPa,
- temperatura wnętrza elementu betonowego nie może przekroczyć 70°C, chyba że zostanie udowodnione, iż dobór składników zabezpiecza przed wpływem wysokiej temperatury,
- specyfikacja wykonawcza powinna zawierać zasady dotyczące redukcji niebezpieczeństwa wystąpienia naprężeń termicznych w młodym betonie np. stosowanie mieszanek o niskim cieple hydratacji, stosowanie instalacji chłodzących itp.

Tabela 25. Klasy pielęgnacji

Czas [h]	Klasa 1.	Klasa 2.	Klasa 3.	Klasa 4.
	12 ^{a)}	nie dotyczy	nie dotyczy	nie dotyczy
Specyfikowana charakterystyczna wytrzymałość 28-dniowa [%]	nie dotyczy	35	50	70
a) jeżeli czas początku wiązania nie przekracza 5 godz. oraz temperatura powierzchni betonu jest \geq niż 5°C				

Długość okresu pielęgnacji świeżo ułożonego betonu jest uzależniona od panujących warunków atmosferycznych i rodzaju zastosowanego cementu, może być określana za pomocą następujących metod:

- pomiaru temperatury z sondy umieszczonej maksymalnie 10 mm pod powierzchnią betonu,
- pomiaru temperatur na podstawie średniej dziennej temperatury,
- pomiaru za pomocą sklerometru Schmidta (po kalibracji na reprezentatywnych próbach betonu),
- innych metod, których przydatność została udowodniona.

W praktyce najprostszą i najdokładniejszą metodą jest pomiar temperatury powierzchni betonu w odniesieniu do wytycznych zawartych w normie PN-EN 13670 – tabele 26÷28.

Tabela 26. Minimalny okres pielęgnacji dla 2. klasy pielęgnacji (odpowiadający wytrzymałości powierzchni wynoszącej 35% wytrzymałości charakterystycznej)

Temperatura (t) powierzchni betonu [°C]	Minimalny okres pielęgnacji [dni] ^{a)}		
	Rozwój wytrzymałości betonu ^{c),d)} ($f_{cm2} / f_{cm28} = r$)		
	szybki $r \geq 0,50$	średni $0,50 > r \geq 0,30$	wolny $0,30 > r \geq 0,15$
$t \geq 25$	1,0	1,5	2,5
$25 > t \geq 15$	1,0	2,5	5
$15 > t \geq 10$	1,5	4	8
$10 > t \geq 5$ ^{b)}	2,0	5	11
a) W przypadku czasu początku wiązania przekraczającego 5 godzin różnice należy doliczyć do czasu pielęgnacji. b) W przypadku gdy temperatura spadnie poniżej 5°C, okres ten należy doliczyć do czasu pielęgnacji. c) Rozwój wytrzymałości betonu rozumiany jest jako stosunek wytrzymałości na ściskanie po 2 dniach dojrzewania do wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach dojrzewania. d) Dla betonów o bardzo wolnym rozwoju wytrzymałości specyfikacje wykonawcze powinny zawierać specjalne wymagania.			

Tabela 27. Minimalny okres pielęgnacji dla 3. klasy pielęgnacji (odpowiadający wytrzymałości powierzchni wynoszącej 50% wytrzymałości charakterystycznej)

Temperatura (t) powierzchni betonu [°C]	Minimalny okres pielęgnacji [dni] ^{a)}		
	Rozwój wytrzymałości betonu ^{c),d)} ($f_{cm2} / f_{cm28} = r$)		
	szybki $r \geq 0,50$	średni $0,50 > r \geq 0,30$	wolny $0,30 > r \geq 0,15$
$t \geq 25$	1,5	2,5	3,5
$25 > t \geq 15$	2,0	4	7
$15 > t \geq 10$	2,5	7	12
$10 > t \geq 5$ ^{b)}	3,5	9	18

a) W przypadku czasu początku wiązania przekraczającego 5 godzin różnice należy doliczyć do czasu pielęgnacji.
 b) W przypadku gdy temperatura spadnie poniżej 5°C, okres ten należy doliczyć do czasu pielęgnacji.
 c) Rozwój wytrzymałości betonu rozumiany jest jako stosunek wytrzymałości na ściskanie po 2 dniach dojrzewania do wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach dojrzewania.
 d) Dla betonów o bardzo wolnym rozwoju wytrzymałości specyfikacje wykonawcze powinny zawierać specjalne wymagania.

Tabela 28. Minimalny okres pielęgnacji dla 4. klasy pielęgnacji (odpowiadający wytrzymałości powierzchni wynoszącej 70% wytrzymałości charakterystycznej)

Temperatura (t) powierzchni betonu [°C]	Minimalny okres pielęgnacji [dni] ^{a)}		
	Rozwój wytrzymałości betonu ^{c),d)} ($f_{cm2} / f_{cm28} = r$)		
	szybki $r \geq 0,50$	średni $0,50 > r \geq 0,30$	wolny $0,30 > r \geq 0,15$
$t \geq 25$	3	5	6
$25 > t \geq 15$	5	9	12
$15 > t \geq 10$	7	13	21
$10 > t \geq 5$ ^{b)}	9	18	30

a) W przypadku czasu początku wiązania przekraczającego 5 godzin różnice należy doliczyć do czasu pielęgnacji.
 b) W przypadku gdy temperatura spadnie poniżej 5°C, okres ten należy doliczyć do czasu pielęgnacji.
 c) Rozwój wytrzymałości betonu rozumiany jest jako stosunek wytrzymałości na ściskanie po 2 dniach dojrzewania do wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach dojrzewania.
 d) Dla betonów o bardzo wolnym rozwoju wytrzymałości specyfikacje wykonawcze powinny zawierać specjalne wymagania.

Informacje

Góraźdze Cement S.A.

ul. Cementowa 1, 47-316 Chorula
e-mail: gorazdze@gorazdze.pl
www.gorazdze.pl

Informacji dotyczących właściwości i zastosowania produktów
Góraźdze Cement S.A. udziela:

Dział Pełnomocnika Zarządu ds. Badań i Rozwoju Produktów Grupy Góraźdze

tel. 77 777 88 14, -16, -18
fax 77 777 88 03

Góraźdze Beton Sp. z o.o.

ul. Cementowa 1, 47-316 Chorula
tel. 77 777 86 60
fax 77 777 86 70
e-mail: biuro@gorazdzebeton.pl
www.gorazdzebeton.pl

Centrum Technologiczne Betotech Sp. z o.o.

ul. Roździeńskiego 14, 41-306 Dąbrowa Górnicza
tel. 77 777 94 59, -52, -55
fax 77 777 94 54
www.betotech.pl

Akredytowane Laboratorium Materiałów Budowlanych

ul. 1-go Maja 50, 47-100 Strzelce Opolskie
tel. 77 777 92 00, -03
fax 77 777 92 05
www.betotech.pl

Góraźdze Kruszywa Sp. z o.o.

ul. Cementowa 1, 47-316 Chorula
tel. 77 777 86 00
fax 77 777 86 02
e-mail: gorazdzekruszywa@gorazdzekruszywa.pl
www.gorazdzekruszywa.pl



GÓRAŹDŹE[®]
HEIDELBERGCEMENT Group

