

# Rodzaje cementów

Cement zgodnie z normą PN-EN 197-1:2012 oznaczany jest CEM – jest to spoiwo hydrauliczne, tj. drobno zmielony materiał nieorganiczny, który po zmieszaniu z wodą daje zaczyn, wiążący i twardniejący w wyniku reakcji i procesów hydratacji, który po stwardnieniu pozostaje wytrzymały i trwały także pod wodą.

Norma PN-EN 197-1:2012 wyróżnia następujące rodzaje cementów:

- CEM I – cement portlandzki
- CEM II – cement portlandzki wieloskładnikowy
- CEM III – cement hutniczy
- CEM IV – cement pucolanowy
- CEM V – cement wieloskładnikowy

## Rodzaje cementów powszechnego użytku

Nazwa cementu	Oznaczenie cementu wg PN-EN 197-1:2012	Maksymalna zawartość nieklinkierowych składników głównych [ % wag.]
<b>Cement portlandzki</b>	CEM I	–
<b>Cement portlandzki wieloskładnikowy</b>	CEM II/A	20
	CEM II/B	35
<b>Cement hutniczy</b>	CEM III/A	65
	CEM III/B	80
	CEM III/C	95
<b>Cement pucolanowy</b>	CEM IV/A	35
	CEM IV/B	55
<b>Cement wieloskładnikowy</b>	CEM V/A	60
	CEM V/B	80

## Składniki główne wchodzące w skład cementu

Nazwa składnika	Oznaczenie składnika	Właściwości
<b>Klinkier portlandzki</b>	K	Materiał hydrauliczny składający się z krzemianów wapnia ( $3CaO \cdot SiO_2$ i $2CaO \cdot SiO_2$ ) oraz glinianów ( $3CaO \cdot Al_2O_3$ ) i glinianożelazianów wapnia ( $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ ). Wytwarzany jest przez spiekanie surowców zawierających: tlenek wapnia (CaO), dwutlenek krzemu ( $SiO_2$ ), tlenek glinu ( $Al_2O_3$ ), tlenek żelaza ( $Fe_2O_3$ ) i niewielkie ilości innych materiałów.
<b>Granulowany żużel wielkopiecowy</b>	S	Wytwarzany przez gwałtowne chłodzenie płynnego żużla o odpowiednim składzie, otrzymywanego przy wytapieniu rudy żelaza w wielkim piecu. Jest to materiał, który wykazuje właściwości hydrauliczne po odpowiedniej aktywacji.
<b>Pył krzemionkowy</b>	D	Składa się z bardzo drobnych kulistych cząstek o zawartości krzemionki bezpostaciowej co najmniej w 85 %. Powstaje podczas redukcji kwarcu wysokiej czystości w obecności węgla w elektrycznych piecach łukowych przy produkcji krzemu lub stopów żelazokrzemu.
<b>Pucolana naturalna</b>	P	Materiał pochodzenia wulkanicznego lub skały osadowe o odpowiednim składzie chemiczno-mineralogicznym
<b>Pucolana przemysłowa</b>	Q	Materiały pochodzenia wulkanicznego, gliny, łupki lub skały osadowe, aktywowane przez obróbkę termiczną.
<b>Popiół lotny krzemionkowy</b>	V	Drobno uziarniony pył, składający się głównie z kulistych, zeszkliwionych ziaren, otrzymywany jest przez elektrostatyczne lub mechaniczne osadzanie pylistych cząstek spalin z palenisk opalanych pyłem węglowym. Składa się z reaktywnego dwutlenku krzemu ( $SiO_2$ ) i tlenku glinu ( $Al_2O_3$ ).
<b>Popiół lotny wapienny</b>	W	Drobno uziarniony pył, składający się głównie z kulistych, zeszkliwionych ziaren. Składa się z reaktywnego tlenku wapnia (CaO), reaktywnego dwutlenku krzemu ( $SiO_2$ ) i tlenku glinu ( $Al_2O_3$ )
<b>Łupek palony</b>	T	Wytwarzany jest w specjalnym piecu w temperaturze około 800°C. Ze względu na skład materiału naturalnego i proces wytwarzania łupek palony zawiera fazy klinkierowe, głównie krzemian dwuwapniowy oraz glinian jednowapniowy.
<b>Wapień</b>	L, LL	Wapień powinien spełniać następujące wymagania: – zawartość węgla wapnia $CaCO_3 \geq 75$ % masy, – całkowita zawartość węgla organicznego (TOC) powinna spełniać jedno z kryteriów: a) LL: nie powinna przekraczać 0,20 % masy, b) L: nie powinna przekraczać 0,50 % masy.

# Rodzaje i skład cementów powszechnego użytku

Główne rodzaje	Nazwa		Skład (udział w procentach masy) <sup>a)</sup>										Składniki drugorzędne			
			Składniki główne													
			klinkier	żużel wielkopiecowy	pył krzemionkowy	pucolana		popiół lotny		łupek palony	wapień					
						naturalna	naturalna wypalana	krzemionkowy	wapienny		L	LL				
K	S	D	P	Q	V	W	T	L	LL							
CEM I	Cement portlandzki	CEM I	95 – 100	-										0 – 5		
	Cement portlandzki żużlowy	CEM II/A-S CEM II/B-S	80 – 94 65 – 79	60 – 20 21 – 35	-										0 – 5 0 – 5	
CEM II	Cement portlandzki krzemionkowy	CEM II/A-D	90 – 94	-	6 – 10	-										0 – 5
	Cement portlandzki pucolanowy	CEM II/A-P	80 – 94	-	-	6 – 20	-	-	-	-	-	-	-	0 – 5		
		CEM II/B-P	65 – 79	-	-	21 – 35	-	-	-	-	-	-	-	0 – 5		
		CEM II/A-Q	80 – 94	-	-	-	6 – 20	-	-	-	-	-	-	0 – 5		
		CEM II/B-Q	65 – 79	-	-	-	21 – 35	-	-	-	-	-	-	0 – 5		
	Cement portlandzki popiółowy	CEM II/A-V	80 – 94	-	-	-	-	6 – 20	-	-	-	-	-	0 – 5		
		CEM II/B-V	65 – 79	-	-	-	-	21 – 35	-	-	-	-	-	0 – 5		
		CEM II/A-W	80 – 94	-	-	-	-	-	6 – 20	-	-	-	-	0 – 5		
		CEM II/B-W	65 – 79	-	-	-	-	-	21 – 35	-	-	-	-	0 – 5		
	Cement portlandzki łupkowy	CEM II/A-T	80 – 94	-	-	-	-	-	-	6 – 20	-	-	-	0 – 5		
		CEM II/B-T	65 – 79	-	-	-	-	-	-	21 – 35	-	-	-	0 – 5		
	Cement portlandzki wapienny	CEM II/A-L	80 – 94	-	-	-	-	-	-	-	6 – 20	-	-	0 – 5		
CEM II/B-L		65 – 79	-	-	-	-	-	-	-	21 – 35	-	-	0 – 5			
CEM II/A-LL		80 – 94	-	-	-	-	-	-	-	-	6 – 20	-	0 – 5			
CEM II/B-LL		65 – 79	-	-	-	-	-	-	-	-	21 – 35	-	0 – 5			
Cement portlandzki wieloskładnikowy <sup>d)</sup>	CEM II/A-M	80 – 88	6 – 20	-										0 – 5		
	CEM II/B-M	65 – 79	21 – 35	-										0 – 5		
CEM III	Cement hutniczy	CEM III/A	35 – 64	36 – 65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0 – 5		
		CEM III/B	20 – 34	66 – 80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0 – 5		
		CEM III/C	5 – 19	81 – 95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0 – 5		
CEM IV	Cement pucolanowy	CEM IV/A	65 – 89	-	11 – 35					-	-	-	0 – 5			
		CEM IV/B	45 – 64	-	36 – 55					-	-	-	0 – 5			
CEM V	Cement wieloskładnikowy <sup>d)</sup>	CEM V/A	40 – 64	18 – 30	-	18 – 30			-	-	-	-	0 – 5			
		CEM V/B	20 – 38	31 – 49	-	31 – 49			-	-	-	-	0 – 5			

a) Wartości w tabeli odnoszą się do sumy składników głównych i składników drugorzędnych.

b) Udział pyłu krzemionkowego jest ograniczony do 10 %.

c) W cementach portlandzkich wieloskładnikowych CEM II/A-M i CEM II/B-M, w cementach pucolanowych CEM IV/A i CEM IV/B i w cementach wieloskładnikowych CEM V/A i CEM V/B główne składniki inne niż klinkier należy deklarerować poprzez oznaczenie cementu

# Wytrzymałość normowa cementów

**Wytrzymałość normowa** cementu jest to wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach dojrzewania, oznaczona zgodnie z PN-EN 196-1:2006.

Norma PN-EN 197-1:2012 rozróżnia trzy klasy wytrzymałości normowej (wytrzymałość na ściskanie wyrażona w  $\text{N/mm}^2$  1 MPa =  $1\text{N/mm}^2$ ):

- klasa 32,5
- klasa 42,5
- klasa 52,5.

**Wytrzymałość wczesna** cementu jest to wytrzymałość na ściskanie po 2 lub po 7 dniach, oznaczona zgodnie z PN-EN 196-1:2006

Zgodnie z normą PN-EN 197-1:2012 dla każdej klasy wytrzymałości normowej rozróżnia się trzy klasy wytrzymałości wczesnej:

- klasa o niskiej wytrzymałości wczesnej (oznaczona symbolem L. Klasa L odnosi się tylko do cementów hutniczych CEM III.)
- klasa normalnej wytrzymałości wczesnej (oznaczona symbolem N):
- klasa wysokiej wytrzymałości wczesnej (oznaczona symbolem R):

## Właściwości mechaniczne i fizyczne cementów.

Klasa wytrzymałości	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]			Początek czasu wiązania	Stałość objętości (rozszerzalność)	
	Wytrzymałość wczesna		Wytrzymałość normowa			
	po 2 dniach	po 7 dniach	po 28 dniach	[min]	[mm]	
<b>32,5 L</b> <sup>a)</sup>	–	≥ 12,0	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75	≤ 10
<b>32,5 N</b>	–	≥ 16,0				
<b>32,5 R</b>	≥ 10,0	–				
<b>42,5 L</b> <sup>a)</sup>	–	≥ 16,0	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60	
<b>42,5 N</b>	≥ 10,0	–				
<b>42,5 R</b>	≥ 20,0	–				
<b>52,5 L</b> <sup>a)</sup>	≥ 10,0	–	≥ 52,5	–	≥ 45	
<b>52,5 N</b>	≥ 20,0	–				
<b>52,5 R</b>	≥ 30,0	–				

a) klasa wytrzymałości definiowana tylko dla cementów hutniczych CEM III

# Właściwości cementów specjalnych odpornych na siarczany SR i niskim ciepłe hydratacji LH

Norma PN-EN 197-1:2012 definiuje siedem wyrobów z grupy cementów powszechnego użytku odpornych na siarczany (oznaczenie SR).

Główne rodzaje	Nazwa		Skład (udział w procentach masy <sup>a)</sup> )				Składniki drugorzędne
			Składniki główne				
			klinkier	żużel wielkopiecowy	pucolana naturalna	popiół lotny krzemionkowy	
			K	S	P	V	
CEM I	Cement portlandzki odporny na siarczany	CEM I-SR 0	95 – 100	–	–	–	0 – 5
		CEM I-SR 3					
		CEM I-SR 5					
CEM III	Cement hutniczy odporny na siarczany	CEM III/B-SR	20 – 34	66 – 80	–	–	0 – 5
		CEM III/C-SR	5 – 19	81 – 95	–	–	0 – 5
CEM IV	Cement pucolanowy odporny na siarczany <sup>b)</sup>	CEM IV/A-SR	65 – 79	–	21 – 35		0 – 5
		CEM IV/B-SR	45 – 64	–	35 – 55		0 – 5

a) Wartości w tablicy odnoszą się do sumy składników głównych i drugorzędnych.

b) W cementach pucolanowych odpornych na siarczany CEM IV/A-SR i CEM IV/B-SR – główne składniki inne niż klinkier należy deklorować poprzez oznaczenie cementu.

## Wymagania chemiczne dla cementów odpornych na siarczany SR

Właściwości	Metoda badania	Rodzaj cementu	Klasa wytrzymałości	Wymagania <sup>a)</sup>
Zawartość siarczanów (jako SO <sub>3</sub> )	EN 196-2	CEM I-SR 0 CEM I-SR 3 CEM I-SR 5 <sup>b)</sup>	32,5 N 32,5 R 42,5 N	≤ 3,0 %
		CEM IV/A-SR CEM IV/B-SR	42,5 R 52,5 N 52,5 R	≤ 3,5 %
C <sub>3</sub> A w klinkierze <sup>d)</sup>	EN 196-2 <sup>d)</sup>	CEM I-SR 0 CEM I-SR 3 CEM I-SR 5	wszystkie	=0 % ≤ 3,0 % ≤ 5,0 %
	— <sup>e)</sup>	CEM IV/A-SR CEM IV/B-SR		≤ 9,0 %
Pucolanowość	EN 196-5	CEM IV/A-SR CEM IV/B-SR	wszystkie	wynik pozytywny po 8 dniach

a) Wymagania podano jako procent masy gotowego cementu.

b) Dla szczególnych zastosowań cementy CEM I-SR 5 mogą być produkowane zgodnie z wyższą zawartością siarczanów. W takich przypadkach wartość liczbowa tego wyższego wymagania dotyczącego zawartości siarczanów należy zadeklarować w dokumencie dostawy.

c) Metoda badania dotycząca oznaczania zawartości C<sub>3</sub>A w klinkierze z analizy gotowego cementu jest w trakcie opracowywania w CEN/TC 51.

d) W szczególnym przypadku cementów CEM I, dopuszcza się obliczanie zawartości C<sub>3</sub>A w klinkierze z analizy chemicznej cementu. Zawartość C<sub>3</sub>A należy obliczyć z równania: C<sub>3</sub>A = 2,65 A – 1,69 F.

e) Do czasu zakończenia prac nad metodą badania, zawartości C<sub>3</sub>A w klinkierze należy oznaczać na podstawie analizy klinkieru, w ramach wykonywanej przez producenta zakładowej kontroli produkcji (PN-EN 197-2:2014).

## Cementy o niskim ciepłe hydratacji LH

Norma PN-EN 197-1:2012 określa dodatkowo wymagania dla cementu o niskim ciepłe hydratacji (oznaczenie LH)

### Wymagania dla cementów o niskim ciepłe hydratacji LH

Rodzaj cementu LH	Wymagania
CEM I CEM II CEM III CEM IV CEM V	Ciepło hydratacji po 41 godzinach ≤ 270 J/g (oznaczone metodą semiadiabatyczną wg PN-EN 196-9:2010)
	Ciepło hydratacji po 7 dniach ≤ 270 J/g (oznaczone metodą ciepła rozpuszczania wg PN-EN 196-8:2010)

Przykłady oznaczeń cementów.

Cement portlandzki EN 197-1 – CEM I 42,5 R – cement portlandzki, o klasie wytrzymałości 42,5 i wysokiej wytrzymałości wczesnej  
Cement portlandzki wieloskładnikowy EN 197-1 – CEM II/A-M (S-V-L) 32,5 R – cement portlandzki wieloskładnikowy zawierający granulowany żużel wielkopiecowy (S), popiół lotny krzemionkowy (V) i wapień (L) w łącznej ilości 12–20 % masy, o klasie wytrzymałości 32,5 i o wysokiej wytrzymałości wczesnej

Cement hutniczy EN 197-1 – CEM III/B 32,5N – LH/SR – cement hutniczy zawierający 66–80 % masy granulowanego żużla wielkopiecowego oraz 20–34 % klinkieru, o klasie wytrzymałościowej 32,5, normalnym przyroście wytrzymałości wczesnej i niskim ciepłe hydratacji (LH) i odporny na siarczany

Cement portlandzki EN 197-1 – CEM I 42,5 R – SR 3 – cement portlandzki o klasie wytrzymałości 42,5 i wysokiej wytrzymałości wczesnej, odporny na siarczany i przy zawartości C<sub>3</sub>A w klinkierze ≤ 3 %.

# Cementy specjalne odporne na siarczany HSR i niskoalkaliczne NA

Krajowa norma PN-B-19707:2013 „Cement. Cement specjalny. Skład, wymagania i kryteria zgodności”

Cement w zależności od właściwości specjalnych, co do których wymagania zawarte są w normie PN-B-19707:2013, dzieli się na:

- cement odporny na siarczany – HSR,
- cement niskoalkaliczny – NA.

**Cement odporny na siarczany HSR** jest to cement powszechnego użytku, spełniający dodatkowo wymagania dotyczące odporności na siarczany, umożliwiające projektowanie i wykonywanie konstrukcji trwałych w warunkach agresji siarczanowej, nie uwzględniony w grupie cementów odpornych na siarczany SR objętych normą PN-EN 197-1:2012.

## Skład i wymagania cementu specjalnego odpornego na siarczany HSR

Rodzaj cementu HSR	Skład cementu specjalnego	Odporność na siarczany	Klinkier
	Wymagania dodatkowe <sup>a)</sup>	Wymagania	
CEM II/A-V CEM II/A-S CEM II/A-M (S-V) CEM II/B-S	–	ekspansja w roztworze Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> po 52 tygodniach ≤ 0,5 % <sup>c)</sup>	Zawartość glinianu trójwapniowego <sup>d)</sup> C <sub>3</sub> A ≤ 5 %
CEM II/B-V	udział popiołu lotnego krzemionkowego <sup>b)</sup> V ≥ 25 %		–
CEM II/B-M (S-V)	udział popiołu lotnego krzemionkowego b) V ≥ 20 %		–
CEM III/A	udział granulowanego żużla wielkopieczowego S ≤ 49 %		Zawartość glinianu trójwapniowego <sup>d)</sup> C <sub>3</sub> A ≤ 9 %
CEM III/A	udział granulowanego żużla wielkopieczowego S ≥ 50 %		–
CEM V/A (S-V) CEM V/B (S-V)	–		–

a) Wymagania podstawowe dotyczące składu wg PN-EN 197-1 (tab. 4.3)

b) Popiół lotny krzemionkowy (V) powinien spełniać wymagania zawarte w PN-EN 197-1:2012, dodatkowo strata prażenia nie może przekraczać 5,0 % masy, oznaczana zgodnie z PN-EN 196-2:2013, lecz przy czasie prażenia wynoszącym 1 h.

c) Badanie sprawdzające.

d) Zawartość glinianu trójwapniowego C<sub>3</sub>A wyliczona z równania:  $C_3A = 2,65 \times Al_2O_3 - 1,69 \times Fe_2O_3$ , na podstawie zawartości Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oznaczanych wg PN-EN 196-2:2013.

**Cement niskoalkaliczny – NA** jest to cement powszechnego użytku, spełniający dodatkowo wymagania dotyczące zawartości alkaliów, umożliwiające projektowanie i wykonywanie konstrukcji odpornych na uszkodzenia w wyniku korozyjnego oddziaływania alkaliów aktywnych w betonie.

#### Skład i wymagania dla cementu specjalnego niskoalkalicznego NA

Rodzaj cementu NA	Skład cementu specjalnego	Całkowita zawartość alkaliów wyrażona jako $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ <sup>b)</sup>
	Wymagania dodatkowe <sup>a)</sup>	Wymagania
<b>CEM I CEM II/A-LL</b>	–	≤ 0,60 %
<b>CEM II/A-V</b>	udział popiołu lotnego krzemionkowego <sup>c)</sup> $V \geq 14 \%$	≤ 1,20 %
<b>CEM II/A-S</b>	udział granulowanego żużla wielkopiecowego $S \geq 14 \%$	≤ 0,70 %
<b>CEM II/A-M (S-V)</b>	udział sumy popiołu lotnego krzemionkowego <sup>c)</sup> i granulowanego żużla wielkopiecowego $(S+V) \geq 14 \%$	≤ 1,20 %
<b>CEM II/B-V</b>	udział popiołu lotnego krzemionkowego <sup>c)</sup> $V \geq 25 \%$	≤ 1,50 %
<b>CEM II/B-S</b>	–	≤ 0,80 %
<b>CEM II/B-M (S-V)</b>	udział popiołu lotnego krzemionkowego <sup>c)</sup> $V \geq 20 \%$	≤ 1,30 %
<b>CEM III/A</b>	udział granulowanego żużla wielkopiecowego $S \leq 49 \%$	≤ 0,95 %
	udział granulowanego żużla wielkopiecowego $S \geq 50 \%$	≤ 1,10 %
<b>CEM III/B CEM III/C</b>	–	≤ 2,00 %
<b>CEM IV/A (V)</b>	udział popiołu lotnego krzemionkowego <sup>c)</sup> $V \geq 25 \%$	≤ 1,50 %
<b>CEM IV/B (V)</b>	–	≤ 2,00 %
<b>CEM V/A (S-V)</b>	udział sumy popiołu lotnego krzemionkowego <sup>c)</sup> i granulowanego żużla wielkopiecowego $(S+V) \leq 49 \%$	≤ 1,60 %
	udział sumy popiołu lotnego krzemionkowego <sup>c)</sup> i granulowanego żużla wielkopiecowego $(S+V) \geq 50 \%$	≤ 2,00 %
<b>CEM V/B (S-V)</b>	–	≤ 2,00 %

a) Wymagania podstawowe dotyczące składu wg PN-EN 197-1:2012 (tab. 4.3)

b) Zawartość  $\text{Na}_{2\text{O}_{\text{eq}}}$  określana wg PN-EN 196-2:2013.

c) Popiół lotny krzemionkowy (V) powinien spełniać wymagania zawarte PN-EN 197-1:2012, dodatkowo strata prażenia nie może przekraczać 5,0 % masy, oznaczana zgodnie z PN-EN 196-2:2013, lecz przy czasie prażenia wynoszącym 1 h.

Przykłady oznaczeń cementów.

Cement portlandzki popiołowy PN-B-19707 – CEM II/B-V 32,5 R – HSR – cement portlandzki popiołowy, zawierający 25-35 % masy popiołu lotnego krzemionkowego (V), o klasie wytrzymałości 32,5 i wysokiej wytrzymałości wczesnej (R) oraz odporny na siarczany (HSR)

Cement hutniczy PN-B-19707 – CEM III/B 32,5 L – LH/SR/NA – cement hutniczy, zawierający 66-80 % masy granulowanego żużla wielkopiecowego (S), o klasie wytrzymałości 32,5 i niskiej wytrzymałości wczesnej (L), o niskim cieple hydratacji (LH), odporny na siarczany (SR) i niskoalkaliczny (NA).

# Cementy specjalne o bardzo niskim cieple hydratacji VLH

Norma PN-EN 14216:2005 „Cement. Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów specjalnych o bardzo niskim cieple hydratacji”

Cement o bardzo niskim cieple hydratacji zgodnie z normą PN-EN 14216:2005 oznaczany jest VLH.

Zachodzące reakcje i procesy hydratacji są identyczne jak w przypadku cementów powszechnego użytku, lecz z uwagi na skład, stopień zmielenia lub reaktywność składników proces hydratacji jest wolniejszy.

Cementy specjalne o bardzo niskim cieple hydratacji dzielą się na trzy główne rodzaje:

VLH III – cement hutniczy

VLH IV – cement pucolanowy

VLHV – cement wieloskładnikowy

Wytrzymałość normowa cementu o bardzo niskim cieple hydratacji jest to wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach dojrzewania. Norma PN-EN 14216:2005 definiuje tylko jedną klasę wytrzymałości normowej (określaną po 28 dniach dojrzewania) – klasę 22,5.

## Właściwości mechaniczne i fizyczne cementów VLH

Klasa wytrzymałości	Wytrzymałość na ściskanie, N/mm <sup>2</sup>		Początek czasu wiązania mm	Stołość objętości (rozszerzalność)
	Wytrzymałość normowa po 28 dniach min			
22,5	≥ 22,5	≤ 42,5	≥ 75	≤ 10

## Wymagania dla cementów o bardzo niskim cieple hydratacji VLH

Rodzaj cementu VLH	Wymagania
VLH III/B i C VLH IV VLHV	Ciepło hydratacji po 41 godzinach ≤ 220 J/g (oznaczone metodą semiadiabatyczną wg PN-EN 196-9:2010)
	Ciepło hydratacji po 7 dniach ≤ 220 J/g (oznaczone metodą ciepła rozpuszczania wg PN-EN 196-8:2010)

Przykłady oznaczeń cementów.

Cement specjalny hutniczy o bardzo niskim cieple hydratacji EN 14216 – VLH III/C 22,5 – Cement specjalny o bardzo niskim cieple zawierający granulowany żużel wielkopiecowy (S) w ilości 81-95 %, o klasie wytrzymałości 22,5 i o bardzo niskim cieple hydratacji

Cement specjalny wieloskładnikowy o bardzo niskim cieple hydratacji EN 14216 – VLHV/A (S-V) 22,5 – cement specjalny o bardzo niskim cieple, zawierający granulowany żużel wielkopiecowy (S) w ilości 18 %-30 % i popiół lotny krzemionkowy (V), w ilości 18 %-30 % masy, o klasie wytrzymałości 22,5 i o bardzo niskim cieple hydratacji

# Beton wg normy PN-EN 206:2014

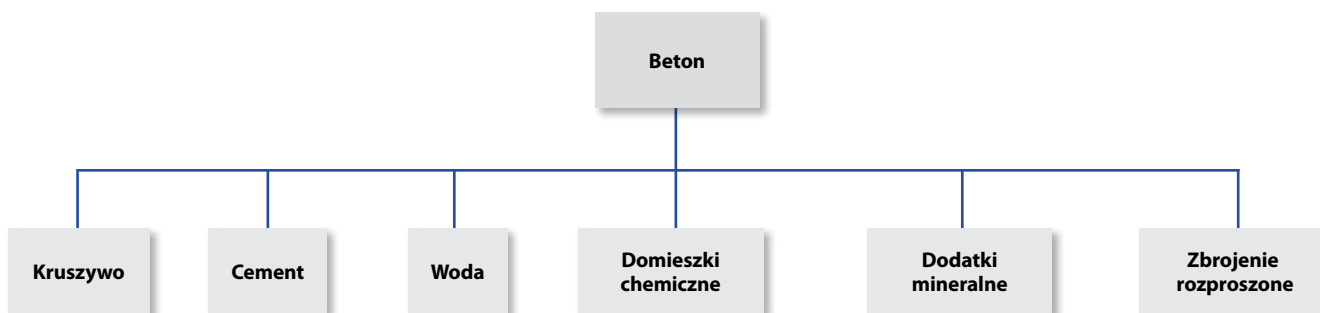
Normę stosuje się do betonu:

- lekkiego o gęstości w stanie suchym  $\geq 800 \text{ kg/m}^3$  i  $\leq 2000 \text{ kg/m}^3$ ,
- zwykłego o gęstości w stanie suchym  $> 2000 \text{ kg/m}^3$  i  $\leq 2600 \text{ kg/m}^3$ ,
- ciężkiego o gęstości w stanie suchym  $> 2600 \text{ kg/m}^3$ .

Normy nie stosuje się do:

- betonu komórkowego,
- betonu spienionego,
- betonu o gęstości  $< 800 \text{ kg/m}^3$ ,
- betonu ogniotrwałego.

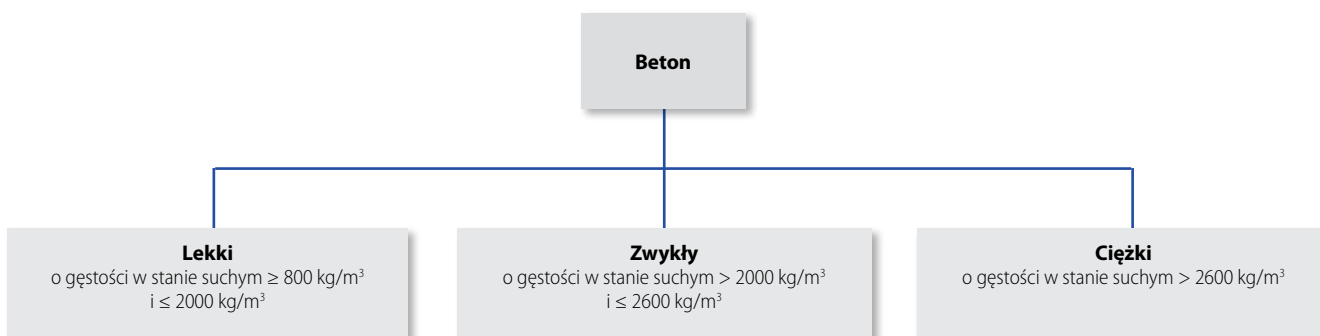
**Głównym założeniem normy jest zapewnienie odpowiedniej trwałości konstrukcji betonowych pracujących w określonych warunkach środowiska**



Mieszanka betonowa – zhomogenizowany beton, który jest jeszcze w stanie umożliwiającym jego zagęszczanie wybraną metodą  
Beton samozagęszczalny (SCC) – beton, który pod własnym ciężarem rozplywa się i zagęszcza, wypełnia deskowanie ze zbrojeniem zachowując jednorodność

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

## Rodzaje betonu



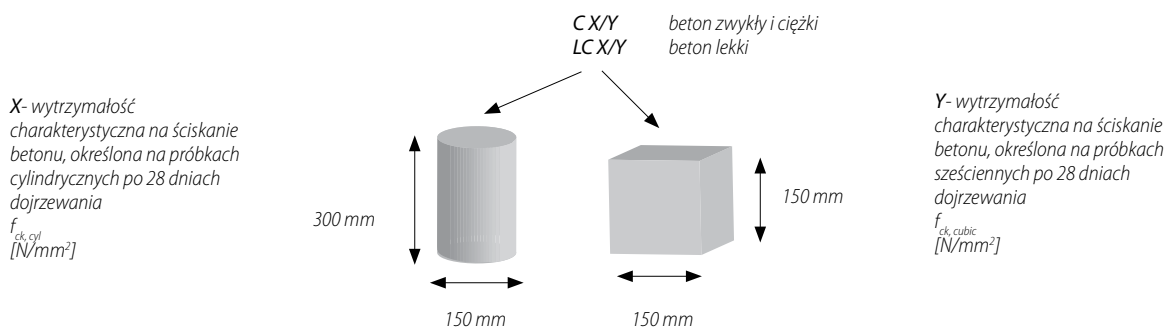


## Wytrzymałość na ściskanie

Wytrzymałość na ściskanie należy określić na podstawie badań przeprowadzonych na próbkach walcowych o wymiarach 150/300 mm lub próbkach sześciennych o boku 150 mm zgodnie z normą PN-EN 12390-3:2011

W przypadku stosowania prób sześciennych o boku 100 mm (wg krajowego uzupełnienia PN-B-06265) należy zastosować mnożnik 0,95 do każdego pojedynczego wyniku badania.

Klasa wytrzymałości na ściskanie jest określona symbolem:



### Klasy wytrzymałości na ściskanie betonu zwykłego i ciężkiego

Klasa wytrzymałości na ściskanie	Minimalna wytrzymałość charakterystyczna oznaczona na próbkach walcowych $f_{ck,cyl}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Minimalna wytrzymałość charakterystyczna oznaczona na próbkach sześciennych $f_{ck,cube}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
<b>C8/10</b>	8	10
<b>C12/15</b>	12	15
<b>C16/20</b>	16	20
<b>C20/25</b>	20	25
<b>C25/30</b>	25	30
<b>C30/37</b>	30	37
<b>C35/45</b>	35	45
<b>C40/50</b>	40	50
<b>C45/55</b>	45	55
<b>C50/60</b>	50	60
<b>C55/67</b>	55	67
<b>C60/75</b>	60	75
<b>C70/85</b>	70	85
<b>C80/95</b>	80	95
<b>C90/105</b>	90	105
<b>C100/115</b>	100	115

### Klasy wytrzymałości na ściskanie betonu lekkiego

Klasa wytrzymałości na ściskanie	Minimalna wytrzymałość charakterystyczna oznaczona na próbkach walcowych $f_{ck,cyl}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Minimalna wytrzymałość charakterystyczna oznaczona na próbkach sześciennych $f_{ck,cube}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
<b>LC8/9</b>	8	9
<b>LC12/13</b>	12	13
<b>LC16/18</b>	16	18
<b>LC20/22</b>	20	22
<b>LC25/28</b>	25	28
<b>LC30/33</b>	30	33
<b>LC35/38</b>	35	38
<b>LC45/50</b>	45	50
<b>LC50/55</b>	50	55
<b>LC55/60</b>	55	60
<b>LC60/66</b>	60	66
<b>LC70/77</b>	70	77
<b>LC80/88</b>	80	88

## Gęstość

Gęstość betonu należy określać w stanie suchym zgodnie z PN-EN 12390-7:2011.

Gęstość betonu zwykłego w stanie suchym powinna być większa niż 2000 kg/m<sup>3</sup> i nie powinna przekraczać 2600 kg/m<sup>3</sup>

Gęstość betonu lekkiego w stanie suchym powinna zawierać się między wartościami w tabeli poniżej.

### Klasy gęstości betonu lekkiego

Klasa gęstości	D1,0	D1,2	D1,4	D1,6	D1,8	D2,0
Zakres gęstości kg/m <sup>3</sup>	≥800 i ≤1 000	>1 000 i ≤1 200	>1 200 i ≤1 400	>1 400 i ≤1 600	>1 600 i ≤1 800	>1 800 i ≤2 000

# Klasy ekspozycji

Zgodnie z normą PN-EN 206:2014 oddziaływania środowiska na beton zostały pogrupowane na 18 klas ekspozycji.

Klasom ekspozycji zostały przyporządkowane wymagania dotyczące składu mieszanki betonowej obejmujące:

- dopuszczalne rodzaje i klasy składników,
- maksymalny współczynnik wodno-cementowy,
- minimalną zawartość cementu,
- minimalną klasę wytrzymałości betonu na ściskanie,
- dla niektórych klas środowiskowych – minimalne napowietrzenie betonu i wymagania dla materiałów (cementy SR lub HSR, kruszywo mrozo odporne).

## Klasy ekspozycji oraz wymagania dotyczące betonu wg PN-EN 206:2014

(w tabeli uwzględniono klasy ekspozycji XM wg krajowego uzupełnienia PN-B-06265:2004)

Klasa ekspozycji	Środowisko	Maks. w/c	Min. zawartość cementu [kg/m <sup>3</sup> ]	Min. klasa betonu	Inne wymagania	Przykład występowania klas ekspozycji	
<b>Brak ryzyka korozji lub oddziaływania</b>	X0	nieagresywne	–	–	C12/15	–	Beton wewnątrz budynków o bardzo niskiej wilgotności powietrza
<b>Karbonatyzacja</b>	XC1	suche	0,65	260	C20/25	–	Beton wewnątrz budynków o niskiej wilgotności powietrza Beton stale zanurzony w wodzie
	XC2	stale mokre	0,60	280	C25/30	–	Powierzchnie betonu narażone na długotrwały kontakt z wodą. Najczęściej fundamenty
	XC3	umiarkowanie wilgotne	0,55	280	C30/37	–	Beton wewnątrz budynków o umiarkowanej lub wysokiej wilgotności powietrza. Beton na zewnątrz osłonięty przed deszczem
	XC4	cyklicznie mokre i suche	0,50	300	C30/37	–	Powierzchnie betonu narażone na kontakt z wodą, ale nie jak w klasie ekspozycji XC2
<b>Chlorki nie pochodzące z wody morskiej</b>	XD1	umiarkowanie wilgotne	0,50	300	C30/37	–	Powierzchnie betonu narażone na działanie chlorków z powietrza
	XD2	mokre, sporadycznie suche	0,55	300	C30/37	–	Baseny, beton narażony na działanie wody przemysłowej zawierającej chlorki
	XD3	cyklicznie mokre i suche	0,45	320	C35/45	–	Elementy mostów narażone na działanie rozpylonych cieczy zawierających chlorki. Nawierzchnie dróg, płyt parkingów
<b>Chlorki pochodzące z wody morskiej</b>	XS1	działanie soli zawartych w powietrzu	0,50	300	C30/37	–	Konstrukcje zlokalizowane na wybrzeżu lub w jego pobliżu
	XS2	stale zanurzenie w wodzie	0,45	320	C35/45	–	Elementy budowli morskich
	XS3	strefa pływów, rozbryzgów i aerozoli	0,45	340	C35/45	–	Elementy budowli morskich
<b>Agresja mrozowa <sup>a)</sup></b>	XF1	umiarkowane nasycenie wodą	0,55	300	C30/37	–	Pionowe powierzchnie betonowe narażone na deszcz i zamarzanie
	XF2	umiarkowanie nasycenie wodą ze środkami odładzającymi	0,55	300	C25/30	–	Pionowe powierzchnie betonowe konstrukcji drogowych narażone na zamarzanie i działanie środków odładzających z powietrza
	XF3	silne nasycenie wodą bez środków odładzających	0,50	320	C30/37	Napowietrzenie min 4,0 %	Poziome powierzchnie betonowe narażone na deszcz i zamarzanie
	XF4	silne nasycenie wodą ze środkami odładzającymi	0,45	340	C30/37	–	Jezdnie dróg i mostów narażone na działanie środków odładzających Powierzchnie betonowe narażone na działanie aerozoli zawierających środki odładzające i zamarzanie Strefy rozbryzgu w budowlach morskich narażonych na zamarzanie
<b>Środowisko agresywne chemiczne <sup>b)</sup></b>	XA1	słaba agresja chemiczna	0,55	300	C30/37	–	–
	XA2	umiarkowana agresja chemiczna	0,50	320	C30/37	–	–
	XA3	silna agresja chemiczna	0,45	360	C35/45	cement odporny na siarczan SR lub HSR	–
<b>Ścieranie <sup>c)</sup></b>	XM1	umiarkowane zagrożenie ścieraniem	0,55	300	C30/37	–	Posadzki i nawierzchnie eksploatowane przez pojazdy o ogumieniu pneumatycznym
	XM2	silne zagrożenie ścieraniem	0,55	300	C30/37	–	Posadzki i nawierzchnie eksploatowane przez pojazdy o ogumieniu pełnym oraz wózki podnośnikowe z ogumieniem elastomerowym lub na rolkach stalowych
	XM3	ekstremalnie silne zagrożenie ścieraniem	0,45	320	C35/45	kruszywo o wysokiej odporności na ścieranie	Posadzki i nawierzchnie często najeżdżane przez pojazdy gęśnicowe Filary mostów Powierzchnie przelewów Ściany spustów i sztolni hydrotechnicznych

a) Kruszywo zgodne z PN-EN 12620:2010 o odpowiedniej odporności na zamrażanie/rozmarzanie.

b) W klasach ekspozycji XA2 i XA3 w przypadku agresji siarczanowej należy stosować cementy SR lub HSR.

c) klasy ekspozycji XM wg krajowego uzupełnienia PN-B-06265. Zaleca się stosować kruszywo o uziarnieniu do 4 mm, składające się głównie z kwarcu lub materiałów co najmniej tej samej twardości; frakcje grubsze – ze skał magmowych czy metamorficznych lub tworzyw sztucznych o dużej odporności na ścieranie. Zaleca się, aby ziarna odznaczały się umiarkowanie chropowatą powierzchnią oraz wypukłą formą. Mieszanka kruszyw winna być możliwie gruboziarnista. Powierzchnia betonu może być uszlachetniana materiałami odpornymi na ścieranie.

d) Np. poprzez wygładzanie i próżnowanie betonu.

Zgodnie z założeniami normy PN-EN 206:2014 należy oczekiwać, że beton wykonany według wymagań podanych w tabeli będzie trwał w środowisku, do jakiego został zaprojektowany, pod warunkiem:

- właściwego ułożenia, zagęszczenia i pielęgnacji,
- zapewnienia otulenia zbrojenia,
- zaprojektowania konstrukcji betonowej zgodnie z rzeczywistymi wymaganiami warunków środowiska,
- eksploatacji konstrukcji w warunkach dla jakich została zaprojektowana,
- przestrzegania właściwej konserwacji.

# Klasy konsystencji mieszanki betonowej

Klasy konsystencji mieszanki betonowej według wymagań PN-EN 206:2014

Metoda	Klasa	Wartości graniczne	Tolerancja
Opad stożka [mm] zgodnie z PN-EN 12350-2	S1	10 – 40	± 10
	S2	50 – 90	± 20
	S3	100 – 150	± 30
	S4	160 – 210	
	S5	≥ 220	
Stopień zagęszczalności zgodnie z PN-EN 12350-4	C0	≥ 1,46	± 0,13
	C1	1,45 – 1,26	± 0,11
	C2	1,25 – 1,11	
	C3	1,10 – 1,04	± 0,08
	C4 <sup>a)</sup>	< 1,04	
Średnica rozplywu [mm] zgodnie z PN-EN 12350-5	F1	≤ 340	± 40
	F2	350 – 410	
	F3	420 – 480	
	F4	490 – 550	
	F5	560 – 620	
	F6	≥ 630	
Rozplyw stożka <sup>b)</sup> [mm] zgodnie z PN-EN 12350-8	SF1	550 – 650	± 50
	SF2	660 – 750	
	SF3	760 – 850	

a) C<sub>1</sub> stosuje się wyłącznie do betonu lekkiego,

b) Klasyfikacji nie stosuje się do betonu z kruszywem o D<sub>max</sub> większym niż 40 mm..

## Zalecane metody badawcze konsystencji mieszanki betonowej

Konsystencja	Sposoby zagęszczania mieszanki i warunki formowania elementu	Zalecana metoda badawcza
Wilgotna	Mieszanki wibroprasowane, przekroje proste niezbrojone	nie klasyfikuje się ze względu na konsystencję
Gęstoplastyczna	Mieszanki wibrowane lub ubijane ręcznie, przekroje proste rzadko zbrojone	stopień zagęszczalności
Plastyczna	Mieszanki wibrowane, przekroje proste normalnie zbrojone lub przekroje złożone rzadko zbrojone	stopień zagęszczalności, opad stożka
Półciekła	Mieszanki wibrowane, przekroje złożone gęsto zbrojone	stopień zagęszczalności, opad stożka
Ciekła	Mieszanki ręcznie sztychowane	stopień zagęszczalności, opad stożka
Bardzo ciekła	Mieszanki samozagęszczalne	rozplyw stożka

Niedopuszczalne jest zwiększanie ciekłości mieszanki betonowej dodawaniem wody – powoduje to zwiększenie wielkości współczynnika w/c i obniżenie trwałości betonu.

Konsystencję należy regulować z wykorzystaniem odpowiednich domieszek uplastyczniających i/lub upłynniających.

# Klasy konsystencji betonu samozagęszczalnego

Klasy dodatkowych właściwości betonu samozagęszczalnego – SCC

Właściwości samozagęszczalnej mieszanki betonowej (SCC) opisuje się za pomocą:

– lepkości mieszanki VF (oznaczając czas  $t_v$ ) lub VS (oznaczając czas  $t_{500}$ ) – jest to opór stawiany przez rozpluwającą się mieszankę betonową.

Klasy lepkości oznaczane zgodnie z PN-EN 12350-9:2012	Klasa	$t_v$ <sup>a)</sup> [s]
	VF1	< 9,0
	VF2	9,0 – 25,0

<sup>a)</sup> Klasyfikacji nie stosuje się do betonu z kruszywem o  $D_{max}$  większym niż 22,4 mm

Klasy lepkości oznaczane zgodnie z PN-EN 12350-8:2012	Klasa	$t_{500}$ <sup>a)</sup> [s]
	VS1	< 2,0
	VS2	≥ 2,0

<sup>a)</sup> Klasyfikacji nie stosuje się do betonu z kruszywem o  $D_{max}$  większym niż 40 mm

– przepływalności PL (metodą pojemnika L) lub PJ (metodą pierścienia J) – jest to zdolność mieszanki betonowej do przepływania, bez utraty jednorodności lub blokowania się, przez ograniczone przestrzenie i wąskie szczeliny, takie jak obszary gęsto zbrojone.

Klasy przepływalności według metody pojemnika L zgodnie z PN-EN 12350-10:2012	Klasa	Wskaźnik przepływalności według metody pojemnika L
	PL1	≥ 0,80 dla 2 prętów
	PL2	≥ 0,80 dla 3 prętów

Klasy przepływalności według metody pierścienia J zgodnie z PN-EN 12350-12:2012	Klasa	Parametr przepływalności według metody pierścienia J <sup>a)</sup> [mm]
	PJ1	≤ 10 z 12 prętami
	PJ2	≤ 10 z 16 prętami

<sup>a)</sup> Klasyfikacji nie stosuje się do betonu z kruszywem o  $D_{max}$  większym niż 40 mm

– odporności na segregację SR (metodą sitową) – jest to zdolność mieszanki betonowej do zachowania jednorodności

Klasy odporności na segregację według metody sitowej oznaczanej zgodnie z PN-EN 12350-11:2012	Klasa	Udział segregacji <sup>a)</sup> [%]
	SR1	≤ 20
	SR2	≤ 15

<sup>a)</sup> Klasyfikacji nie stosuje się do betonu z kruszywem o  $D_{max}$  większym niż 40 mm

# Domieszki chemiczne

Domieszki chemiczne są definiowane w normie PN-EN 934-2 jako składniki dodawane w małych ilościach (do 5 %) w stosunku do masy cementu podczas procesu przygotowania mieszanki betonowej w celu zmodyfikowania właściwości mieszanki betonowej i/lub stwardniałego betonu.

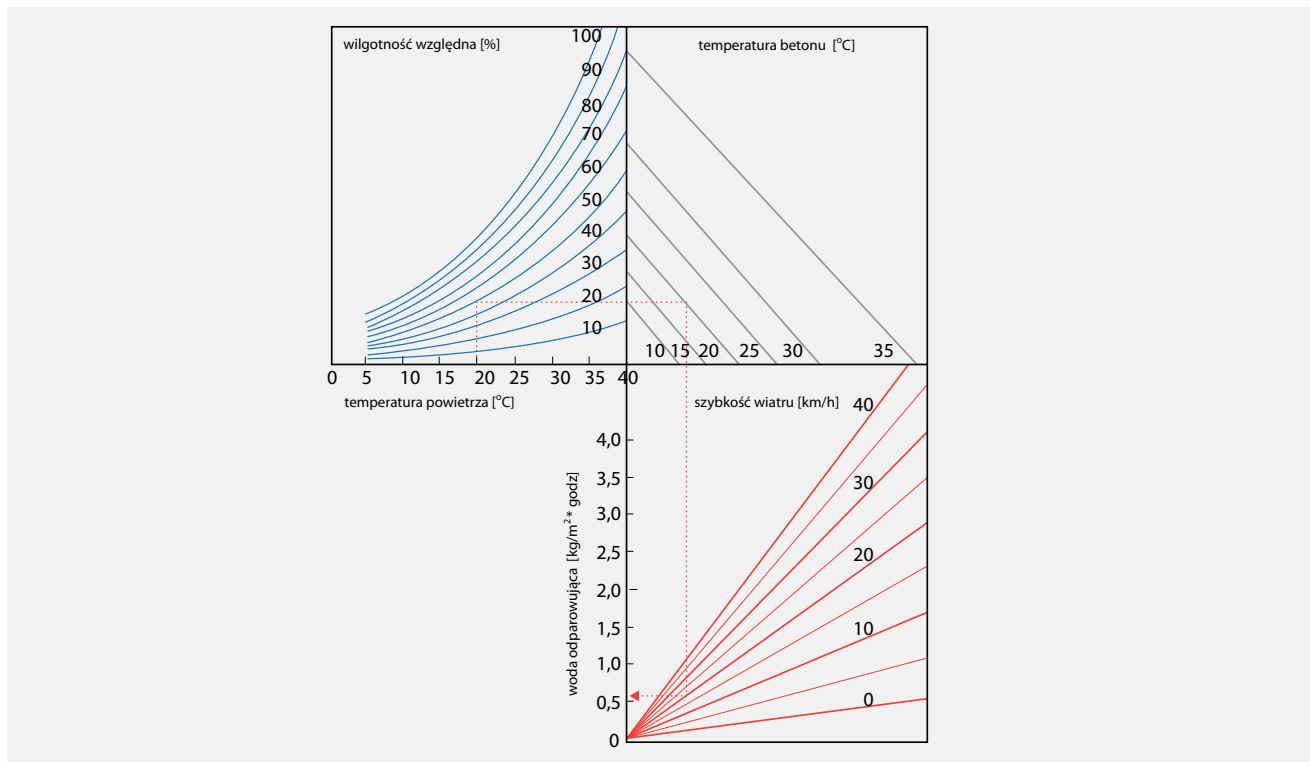
Domieszki chemiczne nie poprawiają właściwości niewłaściwie zaprojektowanej mieszanki betonowej lub betonu niewłaściwie zabudowanego (złe zagęszczanie, brak pielęgnacji, itp.).

Rodzaj domieszki	Działanie	Przykłady zastosowania	Polecane produkty
<b>Redukująca ilość wody/uplastyczniająca</b>	Efektywnie redukują ilość wody niezbędnej do otrzymania określonej konsystencji. Poprawiają konsystencję mieszanki betonowej przy stałym współczynniku w/c. Zmniejszenie ilości wody i utrzymanie konsystencji pozwala na zwiększenie wytrzymałości betonu, a także poprawę jego trwałości poprzez zwiększenie mrozoodporności, szczelności i obniżenie nasiąkliwości.	Betony towarowe klas do C20/25 lub wyższych w połączeniu z domieszkami upłynniającymi. Produkcja betonu w warunkach podwyższonych temperatur.	ATLAS PRIMO LM-131 ATLAS PRIMO LG-836
<b>Znacznie redukująca ilość wody/upłynniające</b>	Umożliwiają znaczne obniżenie zawartości wody zarobowej (12 % redukcji wody). Skutecznie zwiększają konsystencję mieszanki betonowej (w znacznie większym stopniu niż domieszki uplastyczniające). Umożliwiają produkcję mieszanek betonowych o bardzo niskich współczynnikach w/c i wysokiej ciekłości.	Betony towarowe klas powyżej C20/25. Mieszanki betonowe o dużej ciekłości. Betony do wyrobów, elementów i konstrukcji żelbetonowych i sprężonych. Wyroby prefabrykowane.	ATLAS FORTIS NS-130 ATLAS FORTIS MN-131 ATLAS DURUFLOW PE-120 ATLAS DURUFLOW PE-530 ATLAS DURUFLOW PG-926
<b>Zwiększająca wiązłość wody</b>	Ograniczają sedimentację składników mieszanki betonowej przy wysokiej ciekłości mieszanki. Staje się ona bardziej jednorodna i wykazuje mniejszą skłonność do segregacji i samoistnego wycieku wody (bleedingu).	Betony zwykłe o wysokiej ciekłości, lekkie, betony samozagęszczalne, betony architektoniczne. Produkcja betonu do betonowania podwodnego oraz do specjalnych robót geotechnicznych.	ATLAS DURUFLOW VM-500
<b>Napowietrzająca</b>	Wytwarzają w mieszance betonowej dużą liczbę bardzo drobnych pęcherzyków powietrza, równomiernie rozmieszczonych w świeżej mieszance i pozostających po jej stwardnieniu. Mikropory utworzone wskutek wprowadzenia domieszki napowietrzającej korzystnie zmieniają strukturę betonu, obniżając chłonność porów kapilarnych i zmniejszając przenikanie wody. W efekcie beton uzyskuje wyższą mrozoodporność i niższą nasiąkliwość. Kulisty kształt pęcherzyków zmniejsza tarcie wewnętrzne między składnikami mieszanki, uplastyczniając ją i zapobiegając segregacji jej składników.	Betony mrozoodporne w klasie ekspozycji XF2 do XF4. Produkcja betonu odpornego na działanie soli odładzających. Produkcja betonowych nawierzchni drogowych i lotniskowych.	ATLAS FORTIAIR OS-300
<b>Przyspieszająca wiązanie</b>	Skraca czas wiązania cementu szczególnie w niskich temperaturach powietrza. Przyspiesza hydratację cementu oraz pozwala na uzyskanie wysokich wytrzymałości wczesnych. Obniża temperaturę zamarzania zaczynu cementowego.	Produkcja betonu w warunkach zimowych (przy ujemnych temperaturach powietrza przy zachowaniu warunków dotyczących składu mieszanki i pielęgnacji w warunkach zimowych).	ATLAS LIGOCEL AW-540
<b>Opóźniająca wiązanie</b>	Domieszki opóźniające wydłużają przebieg hydratacji cementu w początkowym okresie i spowalniają proces wydzielania ciepła w czasie hydratacji – przedłużają czas przejścia mieszanki betonowej ze stanu plastycznego w stan sztywny. Przy stosowaniu opóźniaczy wiązania wytrzymałość początkowa betonu może być niższa niż betonu bez domieszki, natomiast końcowa wytrzymałość jest zazwyczaj wyższa.	Produkcja betonu monolitycznego np. fundamentów, betonu o wydłużonym czasie wiązania np. przy betonowaniu ciągłym, betonu towarowego o znacznie wydłużonej urabialności, betonu towarowego w warunkach letnich transportowanego na duże odległości.	ATLAS LIGORETARD SC-020 ATLAS LIGORETARD OF-610
<b>Uszczelniająca</b>	Zmniejszają przepuszczalność betonów narażonych na działanie wody oraz zmniejszają ich nasiąkliwość. Ograniczają ryzyko powstawania tzw. wykwitów wapniowych dzięki znacznej redukcji podciągania kapilarnego.	Prefabrykowane wyroby wibroprasowane, betony barwione, betony o wymaganym niskim współczynniku podciągania kapilarnego.	ATLAS ANGUCEL ES-200 ATLAS ANGUCEL KO-919
<b>Uplastyczniająca do wyrobów wibroprasowanych</b>	Działają silnie dyspergująco na ziarna cementu, dzięki czemu spoiwo jest równomiernie zwilżone i rozprowadzone w mieszance betonowej. Zwiększają zdolność do zatrzymywania wody w betonie co ułatwia dozowanie optymalnej ilości wody w betonach o konsystencji wilgotnej. Pozwala na skrócenie czasu wibracji dzięki zwiększonej plastyczności mieszanki. Pozwala na uzyskanie betonu o wyższej gęstości oraz podnoszą wytrzymałość wczesną i końcową betonu. Wprowadzają mikropęcherzyki powietrza, dzięki czemu beton łatwiej zasypuje się do form.	Wyroby wibroprasowane takie jak: betonowa kostka brukowa, obrzeża, krawężniki, płyty, elementy małej architektury. Produkcja elementów z betonu o konsystencji wilgotnej np. rury, kręgi, donice, płyty drogowe	ATLAS PERPECEL NF-210 ATLAS PERPECEL TS-300 ATLAS PERPECEL TS-909

# Pielęgnacja betonu

Celem pielęgnacji jest zapewnienie optymalnych warunków ciepno-wilgotnościowych w dojrzewającym „młodym” betonie. Świeżo wykonane elementy betonowe należy zawsze zabezpieczyć przed szkodliwym działaniem czynników atmosferycznych, czyli głównie przed promieniowaniem słonecznym, wiatrem, opadami atmosferycznymi i mrozem. Czynności związane z pielęgnacją należy rozpocząć bezzwłocznie po zagęszczeniu i wykończeniu powierzchni betonu.

Poniższy wykres przedstawia zależność ilości wody w kilogramach utraconej przez 1 godzinę przez 1 m<sup>2</sup> powierzchni betonu w określonych warunkach.



## Sposoby pielęgnacji betonu

Pielęgnacja betonu w lecie (w okresie podwyższonych temperatur)	Pielęgnacja betonu w zimie (w okresie obniżonych temperatur)
W okresie podwyższonych temperatur należy zapewnić przede wszystkim pielęgnację wilgotnościową, której celem jest ochrona elementu przed odparowaniem wody z powierzchni elementu.	W okresie obniżonych temperatur należy przede wszystkim zabezpieczyć beton przed utratą ciepła i zamarznięciem wody zarobkowej w betonie.
<p>Najczęściej stosowane działania w lecie:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– zraszanie powierzchni elementu betonowego mgiełką wody w taki sposób, aby utrzymać powierzchnię betonu możliwie wilgotną,</li> <li>– przykrywanie betonu mokrymi matami jutowymi, konopnymi lub bawełnianymi oraz zabezpieczenie ich przed wyschnięciem,</li> <li>– zalewanie wodą betonowych konstrukcji fundamentowych,</li> <li>– pokrywanie powierzchni folią PCV lub polietylenową poprzez przymocowanie jej przy krawędziach i złączach w taki sposób aby ograniczyć możliwość odparowania wody,</li> <li>– stosowanie preparatów pielęgnacyjnych.</li> </ul>	<p>Najczęściej stosowane działania w okresie jesienno-zimowym:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– modyfikacja mieszanki betonowej poprzez stosowanie cementu o wyższym cieple hydratacji, obniżenie W/C, ogrzewanie mieszanki betonowej oraz składników przy produkcji betonu, stosowanie domieszek przeciwmrozowych, obniżających temperaturę zamarzania wody i przyspieszających wiązanie,</li> <li>– ochrona cieplna betonu w elemencie poprzez stosowanie folii bąbelkowych, styropianu lub mat z wełny mineralnej,</li> <li>– stosowanie odpowiednich szalunków i ich izolacja,</li> <li>– odgrzewanie elementu betonowego poprzez stosowanie mat grzewczych, nagrzewnic, parą pod odpowiednio skonstruowanymi osłonami,</li> <li>– stosowanie ciepłaków, tj. wykonanie elementów w tunelach stałych, przesuwnych lub namiotach z zapewnieniem w nich odpowiedniej temperatury i wilgotności,</li> <li>– elektronagrzew – podgrzewanie prądem elektrycznym poprzez podłączenie do izolowanego rdzenia grzewczego lub zatopionych w betonie drutów grzewczych,</li> <li>– podgrzewanie promieniowaniem podczerwonym lub polem elektromagnetycznym.</li> </ul>

*Uwaga:*  
Nagle polanie silnie nagrzanej powierzchni betonowej zimną wodą może być przyczyną rys i spękań powstałych w skutek szoku termicznego.

*Uwaga:*  
Dodanie domieszki przyspieszającej wiązanie oraz grzanie betonu nie zastąpi prawidłowej pielęgnacji betonu, pozwala natomiast w znacznym stopniu skrócić okres pielęgnacji.

## Długość okresu pielęgnacji.

Czas trwania pielęgnacji uzależniony jest od panujących warunków atmosferycznych i rodzaju zastosowanego cementu. W praktyce najprostszą metodą określenia czasu pielęgnacji jest pomiar temperatury powierzchni betonu według wytycznych z normy PN-EN 13670 „Wykonanie konstrukcji betonowych”.

### Minimalny okres pielęgnacji dla klasy pielęgnacji 2

(odpowiadający wytrzymałości powierzchni wynoszącej 35 % wytrzymałości charakterystycznej)

Temperatura powierzchni betonu (t) [°C]	Minimalny okres pielęgnacji [dni] <sup>a)</sup>		
	Rozwój wytrzymałości betonu <sup>c),d)</sup>		
	$(f_{cm2}/f_{cm28})=r$		
	Szybki $r \geq 0,50$	Średni $0,50 > r \geq 0,30$	Wolny $0,30 > r \geq 0,15$
<b>t ≥ 25</b>	1,0	1,5	2,5
<b>25 &gt; t ≥ 15</b>	1,0	2,5	5
<b>15 &gt; t ≥ 10</b>	1,5	4	8
<b>10 &gt; t ≥ 5<sup>b)</sup></b>	2,0	5	11

### Minimalny okres pielęgnacji dla klasy pielęgnacji 3

(odpowiadający wytrzymałości powierzchni wynoszącej 50 % wytrzymałości charakterystycznej)

Temperatura powierzchni betonu (t) [°C]	Minimalny okres pielęgnacji [dni] <sup>a)</sup>		
	Rozwój wytrzymałości betonu <sup>c),d)</sup>		
	$(f_{cm2}/f_{cm28})=r$		
	Szybki $r \geq 0,50$	Średni $0,50 > r \geq 0,30$	Wolny $0,30 > r \geq 0,15$
<b>t ≥ 25</b>	1,5	2,5	3,5
<b>25 &gt; t ≥ 15</b>	2,0	4	7
<b>15 &gt; t ≥ 10</b>	2,5	7	12
<b>10 &gt; t ≥ 5<sup>b)</sup></b>	3,5	9	18

### Minimalny okres pielęgnacji dla klasy pielęgnacji 4

(odpowiadający wytrzymałości powierzchni wynoszącej 70 % wytrzymałości charakterystycznej)

Temperatura powierzchni betonu (t) [°C]	Minimalny okres pielęgnacji [dni] <sup>a)</sup>		
	Rozwój wytrzymałości betonu <sup>c),d)</sup>		
	$(f_{cm2}/f_{cm28})=r$		
	Szybki $r \geq 0,50$	Średni $0,50 > r \geq 0,30$	Wolny $0,30 > r \geq 0,15$
<b>t ≥ 25</b>	3	5	6
<b>25 &gt; t ≥ 15</b>	5	9	12
<b>15 &gt; t ≥ 10</b>	7	13	21
<b>10 &gt; t ≥ 5<sup>b)</sup></b>	9	18	30

Legenda:

a) plus każdy okres wiązania przekraczający 5 godzin.

b) zaleca się, aby czas pielęgnacji wydłużyć o okres, w którym temperatura spadnie poniżej 5°C.

c) rozwój wytrzymałości betonu w ujęciu normy jest stosunkiem wytrzymałości na ściskanie po 2 dniach dojrzewania do wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach dojrzewania betonu.

d) dla betonu o bardzo wolnym rozwoju wytrzymałości zaleca się, aby specjalne wymagania były zawarte w specyfikacji wykonawczej.