

Betonowanie i pielęgnacja betonu w obniżonych temperaturach



Betonowanie i pielęgnacja betonu w obniżonych temperaturach

1.

Polska znajduje się w obszarze wpływu dwóch rodzajów klimatu: morskiego i kontynentalnego

Klimat morski jest łagodny (zachodnia część Polski), natomiast klimat kontynentalny bardziej surowy (wschodnia część). Do podstawowych elementów klimatu, które mają wpływ na roboty budowlane, zalicza się:

- temperaturę powietrza,
- prędkość wiatru,
- opady deszczu i śniegu.

Optymalne warunki do betonowania to temperatura powietrza 20-25°C, brak wiatru i opadów

deszczu oraz umiarkowane zachmurzenie (jeśli betonowanie jest wykonywane na zewnątrz). Niskie temperatury w okresie zimowym mogą niekorzystnie wpływać na mieszankę betonową i świeży beton, powodując obniżenie ich wytrzymałości końcowej. Temperatury ujemne mogą powodować zamarzanie betonu (wody zawartej w kapilarach) oraz spowolnienie lub całkowite zatrzymanie procesów hydratacji cementu, a w konsekwencji twardnienia betonu.

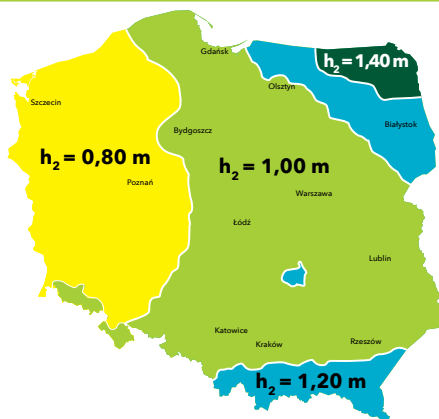
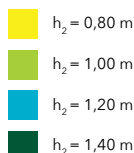
2.

Według wytycznych ITB nr 282/2011 w okresie zimowym nie należy wykonywać robót budowlanych, jeżeli:

- temperatura powietrza wynosi $\leq -5^{\circ}\text{C}$ a prędkość wiatru $\geq 8 \text{ m/s}$
- temperatura powietrza wynosi $\leq -10^{\circ}\text{C}$ a prędkość wiatru $\geq 4 \text{ m/s}$
- temperatura powietrza wynosi $\leq -15^{\circ}\text{C}$ a prędkość wiatru $\geq 2 \text{ m/s}$
- występują opady atmosferyczne, mgły, szron lub szadź.

3.

Głębokość przemarzania gruntu w Polsce



Rys. 1. Strefy przemarzania gruntu w Polsce. Źródło: GIG

4.

Odczuwalna temperatura powietrza w zależności od prędkości wiatru

PRĘDKOŚĆ WIATRU		TEMPERATURA RZECZYWISTA			
km/h	m/s	0	-5	-10	-15
5	1,4	-2	-7	-13	-19
10	2,8	-3	-9	-15	-21
15	4,2	-4	-11	-17	-23
20	5,6	-5	-12	-18	-24
25	6,9	-6	-12	-19	-25

Tabela 1. Odczuwalna temperatura w zależności od temperatury rzeczywistej i prędkości wiatru

5.

Okresy obniżonej temperatury mają szczególnie niekorzystny wpływ na wykonywanie robót fundamentowych. Układając mieszankę betonową, powinno się przestrzegać następujących wymagań:

- Mieszanki nie należy układać na zamrożnięte podłoże, ponieważ zamrożnięte grunty zmieniają swoje właściwości.
- Deskowanie powinno być nieoblodzone. Świeży beton powinien jak najdłużej pozostać w szalunku.
- Zbrojenie powinno być oczyszczone ze śniegu i lodu. Układanie mieszanki wokół metalowych elementów o temperaturze niższej od temperatury zamarzania wody w betonie może powodować lokalne zamarzanie betonu przy powierzchni kontaktowej, co w konsekwencji spowoduje trwale zmniejszoną przyczepność między betonem a zbrojeniem.
- Mieszanka betonowa nie powinna mieć temperatury niższej niż 5°C.
- Należy pamiętać o właściwej pielęgnacji mieszanki betonowej i świeżego betonu, aby nie doprowadzić do zamarznięcia wody w porach betonu do czasu uzyskania przez beton krytycznej wytrzymałości na ściskanie.



Zdjęcie 1. Uszkodzenie ściany fundamentowej wskutek przemrożenia świeżego betonu

Betonowanie i pielęgnacja betonu w obniżonych temperaturach

6.

Wytrzymałość krytyczna

To wytrzymałość na ściskanie w warstwie powierzchniowej betonu, po uzyskaniu której osiąga on odporność na zamrożenie. Wynosi ona **5 MPa**.



Zdjęcie 2. Zarysowania wywołane przemarzaniem na powierzchni świeżego betonu

7.

Skutki zamrożenia świeżego betonu zależą od okresu, w którym beton ulegnie zamrożeniu. Wyróżniamy cztery okresy dojrzewania betonu:

Okres I - przed początkiem wiązania

Zamrożenie przed początkiem wiązania jest stosunkowo mało szkodliwe, chociaż nie pozostaje bez wpływu na wytrzymałość końcową betonu. Następuje zahamowanie wiązania, ale po rozmrożeniu procesy wiązania i twardnienia rozpoczynają się na nowo.

Okres II - po rozpoczęciu wiązania

Zamrożenie betonu w tym okresie może całkowicie zniszczyć jego strukturę. Największe szkody wskutek zamrożenia występują przed zakończeniem procesu wiązania.

Okres III - po zakończeniu wiązania

Zamrożenie betonu w tym okresie może całkowicie zniszczyć jego strukturę.

Okres IV - po osiągnięciu tzw. wytrzymałości krytycznej

Zamrożenie po osiągnięciu wytrzymałości krytycznej nie powinno skutkować zniszczeniem betonu. Beton chroniony do uzyskania wytrzymałości krytycznej jest w stanie osiągnąć założoną wytrzymałość.



Zdjęcie 3. Uszkodzenie płyty stropowej wskutek przemarzenia świeżego betonu

Działania przyspieszające uzyskanie przez beton wytrzymałości krytycznej

- Zamiana cementu w mieszance betonowej na wyższe klasy: np. 42,5
- Zwiększenie ilości cementu w m³
- Dodanie do mieszanki betonowej właściwych dla danej konstrukcji domieszek chemicznych powodujących przyspieszenie wiązania i twardnienia mieszanki betonowej
- Zmniejszenie współczynnika w/c poprzez zastosowanie odpowiednich domieszek chemicznych do mieszanki betonowej
- Podgrzewanie składników mieszanki betonowej (z wyjątkiem cementu) do odpowiedniej temperatury, w celu uzyskania określonej temperatury mieszanki betonowej, w chwili jej układania w deskowaniu
- Oslanianie elementów lub całej konstrukcji materiałami ciepłochronnymi w celu zachowania ciepła w mieszance betonowej, ułożonej w deskowaniu lub formie, przez okres niezbędny do uzyskania przez beton pełnej mrozoodporności
- Ogrzewanie świeżego betonu w deskowaniu za pomocą pary, ciepłego powietrza lub – w przypadkach technicznie uzasadnionych – za pomocą prądu elektrycznego
- Wykonywanie robót betonowych w pomieszczeniach zamkniętych ogrzanych lub w ciepłakach stałych albo przesuwnych, chroniących przez mrozem i wiatrem



Zdjęcie 4. Zabezpieczenie płyty fundamentowej geowłókniną, styropianem i osłoną z folii

Betonowanie i pielęgnacja betonu w obniżonych temperaturach

9.

Materiały izolacyjne stosowane do osłaniania betonu w okresach obniżonej temperatury

- styropian
- geowłóknina
- folie
- płyty, maty z wełny mineralnej
- ciepłaki



Zdjęcie 5. Wykonanie robót z zastosowaniem ciepłaka

10.

Doświadczenie laboratoryjne

Celem doświadczenia było zbadanie wytrzymałości na ściskanie dla próbek betonowych wykonanych i pielęgnowanych w warunkach laboratoryj-

nych i dla próbek przechowywanych na zewnątrz w warunkach zimowych.

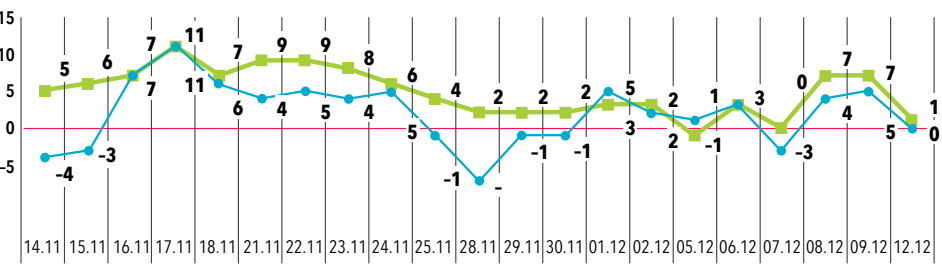
Zaroby betonowe wykonano wg receptury:

SKŁADNIKI	ILOŚĆ [kg/m³]
Cement CEM II/A-V 42,5R Lafarge	280
Popiół lotny krzemionkowy	60
Kruszywo 0-2 mm	700
Kruszywo 2-8 mm	560
Kruszywo 8-16 mm	560
Woda całkowita	160
Domieszka chemiczna	2,1

Źródło: Opracowania własne Lafarge

CZAS DOJRZEWANIA I TWARDNIENIA BETONU	WYTRZYMAŁOŚĆ NA ŚCISKANIE [MPa]	
	Próbki przechowywane na zewnątrz	Próbki przechowywane w warunkach laboratoryjnych
R1	0,3	13,0
R2	15,1	21,7
R3	18,9	25,9
R7	28,1	33,2
R14	33,9	37,8
R28	34,3	43,8

Źródło: Opracowania własne Lafarge



Źródło: Opracowania własne Lafarge



Podsumowanie doświadczenia w laboratorium

- Próbkę betonową **wykonano z tego samego za-robku laboratoryjnego**.
- Od razu po zaformowaniu część próbek wystawiono na zewnątrz. **Wytrzymałość na ściskanie po 1 dniu dla próbek przechowywanych w warunkach laboratoryjnych wynosiła 13 MPa, a dla próbek wystawionych na zewnątrz – 0,3 MPa.** Próbkę przechowywaną w warunkach laboratoryjnych – nastąpił prawidłowy początek i koniec wiązania i w dalszym okresie należy spodziewać się przyrostów wytrzymałości. W przypadku próbek wystawionych na zewnątrz, proces wiązania został zaburzony niską temperaturą.
- Kolejne okresy badania wytrzymałości na ściskanie od 2. do 28. dnia – próbki, które były przechowywane na zewnątrz, zostały włożone do komory wilgotnościowej w laboratorium na pierwszą dobę dojrzewania, aby nastąpiły wstępne procesy hydratacji cementu, a następnie po tym czasie próbki przechowywano na zewnątrz, w temperaturze poniżej 10°C.
- **Po 28 dniach dojrzewania próbki, które przebywały w laboratorium w komorze wilgotnościowej, uzyskały wynik wytrzymałości na ściskanie na poziomie 43,8 MPa, a próbki przechowywane na zewnątrz – 34,3 MPa.**
- Na podstawie uzyskanych wyników widać wyraźnie, że **niska temperatura ma wpływ na wytrzymałość betonu**.
- Taki wpływ temperatury będziemy obserwować zwłaszcza w elementach o dużej długości w stosunku do szerokości (np. ściana oporowa, ława fundamentowa).
- Inną zależność wpływu temperatury zewnętrznej będziemy obserwować w elementach masowych.



Wyciąg z normy PN-EN 13670

8.2. Roboty przygotowawcze

1. Plan betonowania należy przygotować, jeśli jest to wymagane w specyfikacji wykonawczej.
2. Wstępne badanie robót betoniarskich przez próbne betonowanie przeprowadza się, jeżeli jest wymagane przez specyfikację projektową. Wyniki tych badań powinny być udokumentowane przed rozpoczęciem prac.
3. Wszystkie prace przygotowawcze powinny być zakończone, skontrolowane i udokumentowane zgodnie z wymaganiami dla właściwej klasy kontroli przed rozpoczęciem betonowania.
4. Złączka konstrukcyjne powinny być przygotowane zgodnie z wymaganiami określonymi w specyfikacji wykonawczej: powinny być czyste, bez mleczka cementowego, zwilżone do stanu wilgotnego.
5. Zaleca się, aby deskowanie było nieuszkodzone, wolne od lodu, śniegu i stojącej wody.
6. Jeżeli mieszankę betonową układa się bezpośrednio na podłożu gruntowym, należy ją zabezpieczyć przed zmieszaniem z gruntem.
7. Jeżeli istnieje ryzyko, że deszcz lub inna woda opadowa może wymywać cement i drobne frakcje kruszywa z mieszanki betonowej w trakcie betonowania, należy zaplanować środki ostrożności w celu zabezpieczenia betonu przed uszkodzeniami.
8. Grunt, skała, deskowanie lub elementy konstrukcyjne stykające się z miejscem przeznaczonym do betonowania powinny mieć temperaturę, która nie spowoduje zamarzania betonu przed osiągnięciem przez niego wytrzymałości, zapewniającej odporność na zamarzanie.

8.5. Pielęgnacja i ochrona

1. Młody beton powinien być pielęgnowany i chroniony:
 - a) aby zminimalizować skurcz plastyczny;
 - b) aby zapewnić odpowiednią wytrzymałość powierzchniową;
 - c) przed szkodliwymi warunkami atmosferycznymi;
 - d) przed zamarzaniem;
 - e) przed szkodliwymi drganiami lub uszkodzeniami.
2. Jeżeli beton w początkowym okresie dojrzewania wymaga ochrony przed szkodliwym kontaktem z czynnikami agresywnymi (np. chlorkami), takie wymagania powinny być określone w specyfikacji wykonawczej.
3. Metody pielęgnacji powinny zapewniać małą szybkość odparowywania wody z powierzchni betonu lub utrzymać tę powierzchnię stale wilgotną; odpowiednie wytyczne podano w Załączniku F. Pielęgnacja naturalna jest wystarczająca, jeśli warunki podczas wymaganego okresu pielęgnacji zapewniają małą szybkość parowania z powierzchni betonu (np. wilgotna, deszczowa lub mglistą pogoda).
4. Po zagęszczeniu i wykończeniu powierzchni betonu powierzchnia ta powinna być bezzwłocznie poddana pielęgnacji. W razie konieczności ochrony swobodnej powierzchni przed powstawaniem rys związanych ze skurczem plastycznym, przed wykończeniem powierzchni należy zastosować pielęgnację tymczasową.

5. Jeżeli stosuje się beton z małą skłonnością do wydzielania nadmiaru wody, np. beton o wysokiej wytrzymałości i beton samozagęszczalny, należy poświęcić szczególną uwagę ochronie przed rysami związanymi ze skurczem plastycznym. Dotyczy to również betonowania w warunkach atmosferycznych, które mogą spowodować silne parowanie, jak na przykład upał, wiatr oraz chłodne i suche powietrze.
6. Czas trwania pielęgnacji zależy od rozwoju właściwości betonu w strefie powierzchniowej. Rozwój właściwości betonu jest opisany klasami pielęgnacji, określonymi przez czas pielęgnacji lub procent wymaganej wytrzymałości charakterystycznej na ściskanie po 28 dniach, zgodnie z Tabelicą 4.
7. Planowana do zastosowania klasa pielęgnacji powinna być określona w specyfikacji wykonawczej.
8. Dopuszcza się, aby specjalne wymagania w zakresie pielęgnacji (wyższe niż 70%) były podane w specyfikacji wykonawczej.
9. Zalecenia dotyczące metod pielęgnacji i minimalne czasy pielęgnacji są podane w Informacyjnym Załączniku F.
10. Niedopuszczalne jest stosowanie komponentów pielęgnacyjnych na złączach konstrukcyjnych, na powierzchniach, które mają być poddane obróbce, lub na powierzchniach, gdzie wymagana jest przyczepność innych materiałów, o ile związki te nie zostaną usunięte w całości przed następną operacją lub ustalono, że nie mają one szkodliwego wpływu na następne operacje.
11. Nie należy stosować środków pielęgnacyjnych na powierzchniach, których dotyczą specjalne wymagania odnośnie do wykończenia, o ile nie zostało wykazane, że nie wywierają one szkodliwego wpływu.
12. Temperatura powierzchni betonu nie powinna spadać poniżej 0°C dopóki wytrzymałość na ściskanie w warstwie powierzchniowej betonu nie osiągnie wartości co najmniej 5 MPa.
13. Jeżeli nie określono inaczej, najwyższa temperatura betonu wewnątrz elementu użytkowanego w warunkach wilgotnych lub cyklicznego zwilżania nie powinna przekraczać 70°C, o ile nie wykazano, że przy zastosowanych materiałach wyższa temperatura nie będzie miała znacząco szkodliwego wpływu na właściwości betonu.
UWAGA! Jeżeli beton jest narażony na działanie wysokiej temperatury przez pewien czas w początkowym okresie dojrzewania, może wystąpić opóźnione powstawanie etryngitu, w zależności od wilgotności i składu mieszanki betonowej (zawartość alkaliów, skład chemiczny cementu, stosowanie dodatków itp.).
14. Wymagania dotyczące przyspieszonej pielęgnacji za pomocą ogrzewania zewnętrznego lub wewnętrznego nie są ujęte w niniejszej normie.
15. Jeżeli stosuje się pielęgnację za pomocą wysokiej temperatury, należy uwzględnić możliwy ubytek wytrzymałości.
16. Specyfikacja wykonawcza może zawierać wymagania dotyczące ograniczenia możliwości spełnień termicznych młodego betonu (np. stosowanie betonu o niskim cieple hydratacji, rur chłodzących, izolacji, itp.).

Tabelica 4. Klasy pielęgnacji

	1. klasa pielęgnacji	2. klasa pielęgnacji	3. klasa pielęgnacji	4. klasa pielęgnacji
Czas (godziny)	12	NA	NA	NA
Procent wymaganej wytrzymałości charakterystycznej na ściskanie po 28 dniach	Nie stosuje się (NA)	35%	50%	70%
* Pod warunkiem, że wiązanie nie trwa dłużej niż 5 h, a temperatura powierzchni betonu wynosi $\geq 5^{\circ}\text{C}$				

Wyciąg z normy PN-EN 13670

Tablica F.1. Minimalny okres pielęgnacji dla klasy pielęgnacji 2 (w odniesieniu do powierzchniowej wytrzymałości betonu równej 35% określonej wytrzymałości charakterystycznej)

Temperatura powierzchni betonu (t), °C	Minimalny okres pielęgnacji, dni ^a		
	Rozwój wytrzymałości na ściskanie ^{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 Plus każdy okres wiązania przekraczający 5 h.
^b Przy temperaturze poniżej 5°C czas trwania powinien być wydłużony o czas, w którym temperatura wynosi poniżej 5°C.
^c Rozwój wytrzymałości betonu jest mierzony stosunkiem średniej wytrzymałości na ściskanie po 2 dniach do średniej wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach, wyznaczonych w badaniach wstępnych lub na podstawie znanych właściwości betonu o porównywalnym składzie (patrz EN 206-1).
^d W przypadku bardzo powolnego rozwoju wytrzymałości betonu, szczególne wymagania powinny być podane w specyfikacji wykonawczej.

Źródło: Wyciąg z normy PN-EN 13670

Tablica F.2. Minimalny okres pielęgnacji dla klasy pielęgnacji 3 (w odniesieniu do powierzchniowej wytrzymałości betonu równej 50% określonej wytrzymałości charakterystycznej)

Temperatura powierzchni betonu (t), °C	Minimalny okres pielęgnacji, dni ^a		
	Rozwój wytrzymałości na ściskanie ^{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 Plus każdy okres wiązania przekraczający 5 h.
^b Przy temperaturze poniżej 5°C czas trwania powinien być wydłużony o czas, w którym temperatura wynosi poniżej 5°C.
^c Rozwój wytrzymałości betonu jest mierzony stosunkiem średniej wytrzymałości na ściskanie po 2 dniach do średniej wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach, wyznaczonych w badaniach wstępnych lub na podstawie znanych właściwości betonu o porównywalnym składzie (patrz EN 206-1).
^d W przypadku bardzo powolnego rozwoju wytrzymałości betonu, szczególne wymagania powinny być podane w specyfikacji wykonawczej.

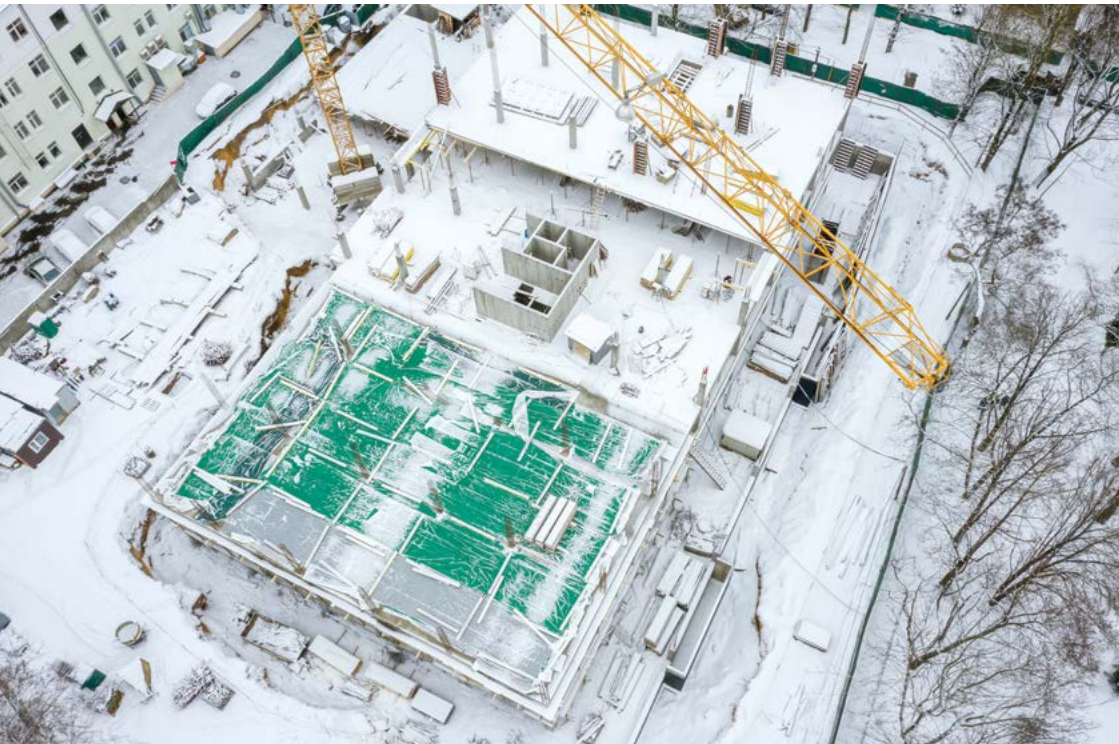
Źródło: Wyciąg z normy PN-EN 13670

Tablica F.3. Minimalny okres pielęgnacji dla klasy pielęgnacji 4 (w odniesieniu do powierzchniowej wytrzymałości betonu równej 70% określonej wytrzymałości charakterystycznej)

Temperatura powierzchni betonu (t), °C	Minimalny okres pielęgnacji, dni ^a		
	Rozwój wytrzymałości na ściskanie ^{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 Plus każdy okres wiązania przekraczający 5 h.
^b Przy temperaturze poniżej 5°C czas trwania powinien być wydłużony o czas, w którym temperatura wynosi poniżej 5°C.
^c Rozwój wytrzymałości betonu jest mierzony stosunkiem średniej wytrzymałości na ściskanie po 2 dniach do średniej wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach, wyznaczonych w badaniach wstępnych lub na podstawie znanych właściwości betonu o porównywalnym składzie (patrz EN 206-1).
^d W przypadku bardzo powolnego rozwoju wytrzymałości betonu, szczególne wymagania powinny być podane w specyfikacji wykonawczej.

Źródło: Wyciąg z normy PN-EN 13670





Lafarge

West Station II
Al. Jerozolimskie 142 B
02-305 Warszawa
tel.: 22 324 60 00
fax: 22 324 60 05
lafarge.pl

Spotkajmy się



Lafarge Polska



Lafarge Polska



Lafarge Polska