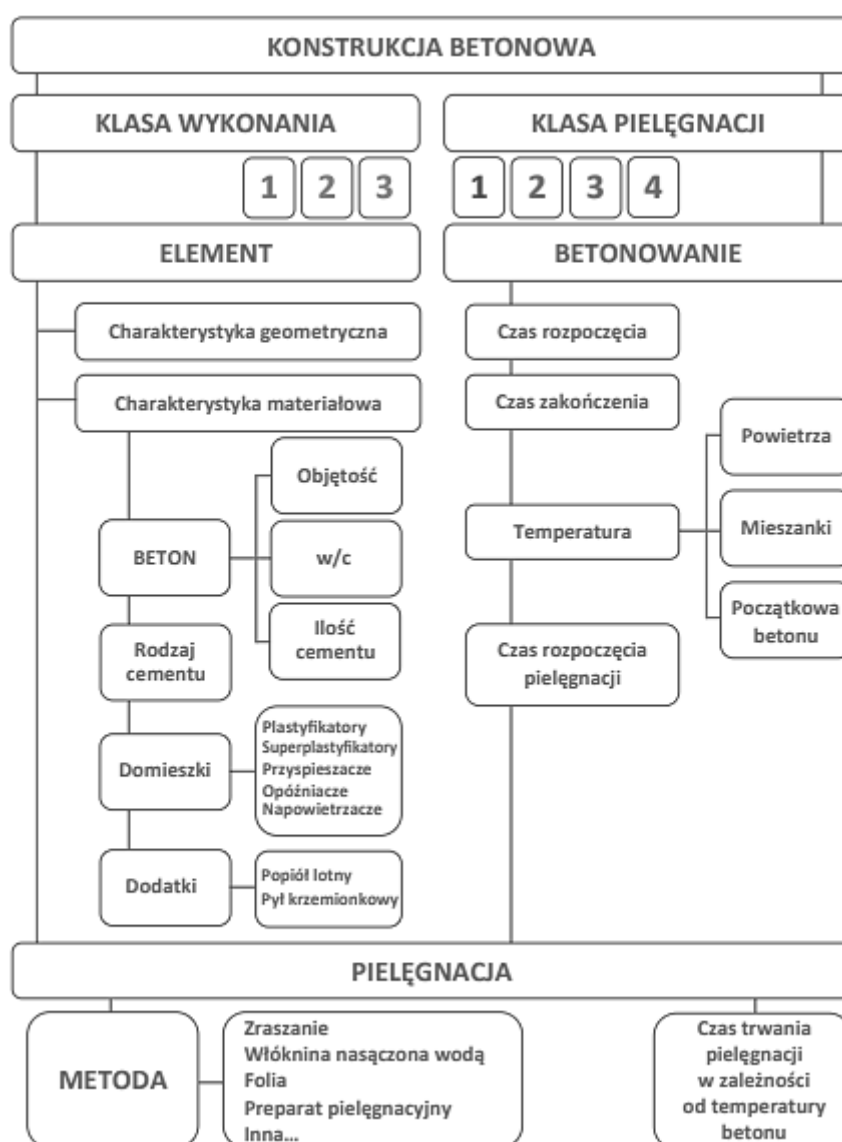


Postanowienia ogólne

1. Niniejsze Ogólne Warunki Pielęgnacji Betonu (OWPB) określają podstawowe zasady, procedury i wymagania dotyczące pielęgnacji betonu. Dokument ten ma zastosowanie w każdej realizacji, w której wykorzystuje się beton dostarczany przez BETONBEST.
2. OWPB stanowią integralny załącznik do Ogólnych Warunków Sprzedaży (OWS) oraz Ogólnych Warunków Gwarancji (OWG) betonu towarowego (OWGBT). Ich przestrzeganie jest niezbędne do zachowania prawa Odbiorcy do reklamacji, gwarancji jakości betonu.
3. Mieszanka betonowa powinna zostać wbudowana w ciągu 90 minut od czasu pierwszego kontaktu cementu z wodą, wskazanego na dokumencie dostawy WZ. Odbiorca odpowiada za uzgodnienie tempa dostaw oraz właściwe rozplanowanie robót w celu uniknięcia opóźnień.

Wprowadzenie

1. Projektant obiektu definiuje w specyfikacji projektowej wymagania dotyczące betonu (m.in. klasa wytrzymałości, klasa ekspozycji), sposobu prawidłowej do warunków i konstrukcji pielęgnacji oraz czasu jej trwania. Schemat planowania pielęgnacji przedstawiony jest na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat planowania pielęgnacji [6]

2. Beton w każdym zastosowaniu musi osiągnąć projektowane właściwości wytrzymałościowe i trwałościowe, aby zapewnić spełnienie stanów granicznych budowli oraz oczekiwanej trwałości obiektu. Odbiorca odpowiada za zamówienie odpowiedniej ilości betonu i spełniającego wymagane parametry techniczne.
3. Odbiorca jest odpowiedzialny za prowadzenie prawidłowej pielęgnacji. Głównym celem pielęgnacji betonu jest minimalizacja ryzyka powstawania skurczu plastycznego, wysychania, rys i mikropęknięć oraz:
 - a) zapewnienie optymalnych warunków termiczno-wilgotnościowych w dojrzewającym betonie (dostarczenie odpowiedniej ilości wody do przebiegu procesów hydratacji oraz zachowanie odpowiedniego zakresu temperatur dojrzewania),
 - b) ochronę wykonanego elementu betonowego przed szkodliwym działaniem czynników atmosferycznych (promieniowanie słoneczne, wiatr, opady atmosferyczne) i zamarzanie,
 - c) przeciwdziałanie skurczowi spowodowanemu utratą wilgoci z betonu,
 - d) ograniczenie naprężeń termicznych wywołanych gradientem temperatur pomiędzy powierzchnią a wnętrzem dojrzewającego elementu betonowego (naprężenia mogą skutkować zarysowaniem i spękaniami konstrukcji – obniżeniem trwałości),
 - e) zapewnienie odpowiedniej wytrzymałości powierzchniowej,
 - f) zapewnienie odpowiedniej trwałości strefy powierzchniowej,
 - g) zabezpieczenie przed drganiami, uderzeniami lub uszkodzeniami.

Przygotowanie do betonowania

a) warunki pogodowe podczas betonowań

1. Dobór sposobu wbudowania oraz pielęgnacji mieszanki betonowej należy uzależnić od panujących warunków zewnętrznych, takich jak temperatura i wilgotność powietrza. W szczególności należy:
 - a) unikać betonowania podczas silnego wiatru, deszczu i mrozów,
 - b) zabezpieczyć świeży beton przed nadmiernym wysychaniem w czasie upałów,
 - c) zapewnić utrzymanie odpowiedniej temperatury dojrzewania betonu w okresie niskich temperatur.
2. W zależności od temperatury otoczenia wyróżnia się następujące okresy dojrzewania betonu:
 - a) warunki naturalne – gdy średnia temperatura dobową przekracza +10 °C,
 - b) warunki obniżonej temperatury – przy średniej temperaturze dobowej od +5 °C do +10 °C,
 - c) warunki zimowe – gdy średnia temperatura dobową jest niższa niż +5 °C,
 - d) warunki podwyższonej temperatury - gdy średnia temperatura dobową przekracza +25 °C.
3. Średnią temperaturę dobową T_{sr} należy wyznaczać jako wartość średnią arytmetyczną z pomiarów wykonanych w ciągu doby (temperatura powietrza o godzinie 7:00, 13:00 i 21:00):

$$T_{sr} = (T_7 + T_{13} + 2 \times T_{21}) / 4$$

b) deskowania i zbrojenie

4. Przed rozpoczęciem betonowania należy sprawdzić prognozę warunków pogodowych (temperatura, opady, wiatr, nasłonecznienie) i dostosować organizację robót do aktualnych warunków atmosferycznych.
5. Powierzchnie deskowań oraz podłoże należy dokładnie oczyścić z zanieczyszczeń mogących pogorszyć przyczepność lub jakość powierzchni betonu.
6. Deskowania należy pokryć cienką, równomierną warstwą środka antyadhezyjnego, w celu ułatwienia ich późniejszego demontażu oraz ochrony powierzchni betonu przed uszkodzeniami podczas rozdeskowania. Olejowe środki powodują brunatne przebarwienia i wymagają usuwania gorącą parą z detergentami, dlatego zaleca się stosowanie parafinowych środków antyadhezyjnych, które nie powodują takich wad.

Betonowanie

a) aplikacja mieszanki betonowej

1. Mieszkankę betonową należy wbudowywać bezpośrednio we właściwe miejsce, tak aby nie było konieczności jej dodatkowego rozprowadzania w deskowaniu. Wysokość swobodnego spadania mieszanki

nie powinna przekraczać 1,5 m. W przypadku wylewania betonu przez zbrojenie dopuszczalna wysokość spadania powinna być ograniczona do 1 m, co zapobiega segregacji składników.

2. Jeżeli zachodzi konieczność wylewania mieszanki z wysokości większej niż 1,5 m, należy zastosować specjalne rury zrzutowe. W przypadku konieczności rozprowadzenia betonu w deskowaniu, należy używać wyłącznie narzędzi ręcznych, takich jak łopaty lub grabie, natomiast niedozwolone jest używanie buławy wibracyjnej do przemieszczania mieszanki.

b) zagęszczenie mieszanki betonowej

1. Beton należy układać w poziomych warstwach o jednakowej grubości, dostosowanej do rodzaju i charakterystyki wibratorów przewidzianych do zagęszczenia. Warstwy powinny być układane pasami równoległymi do krótszego boku elementu, przy czym każda kolejna warstwa musi być wbudowana w tym samym porządku co poprzednia. Nową warstwę należy wbudować przed związaniem warstwy poprzedniej. Projekt betonowania powinien umożliwiać układanie kolejnych warstw „świeże na świeże”, czyli w czasie do 60 minut od wylania poprzedniej warstwy.
2. Przy betonowaniu ścian wylewanie i zagęszczanie betonu powinno być prowadzone w warstwach o grubości nie większej niż 0,5 m, aby zapewnić prawidłowe wypełnienie przestrzeni zbrojenia oraz jednolitą strukturę betonu.
3. Zagęszczanie mieszanki betonowej powinno być przeprowadzane przy użyciu wibratorów wgłębnych z zachowaniem następujących zasad:
 - a) Czas wibracji ustala się każdorazowo na budowie, w zależności od konsystencji mieszanki i siły wibratora; czas wibracji nie powinien być ani nadmiernie długi, ani za długi (np. przy konsystencji o opadzie stożka 8–10 cm powinien trwać ok. 25 sekund)
 - b) Buławę wibratora należy zagłębiać w świeżą warstwę betonu na głębokość 5–8 cm, przy zagęszczaniu kolejnej warstwy buława powinna wnikać około 10 cm w poprzednią warstwę, zapewniając właściwe połączenie warstw. Wyciąganie buławy powinno odbywać się powoli, w sposób umożliwiający prawidłowe uwolnienie powietrza z betonu, co objawia się charakterystycznym bulgotaniem.
 - c) Należy stosować buławę o odpowiedniej średnicy i mieć zawsze zapasową buławę na budowie.
 - d) W czasie wibracji należy zachować bezpieczną odległość buławy od zbrojenia i deskowania, aby ich nie dotykać.
 - e) Buławę wibratora należy zagłębiać mijankowo, aby uniknąć powstawania tzw. pól martwych niezawibrowanych.
 - f) Na płytach i dużych powierzchniach wierzchnią warstwę betonu należy dodatkowo zagęszczać przy użyciu listwy wibracyjnej, co zapewnia gładką i jednolitą powierzchnię.
 - g) Należy kontrolować stan deskowań i połączeń, aby mleczko cementowe nie wypływało, a beton dobrze wypełnił wszystkie przestrzenie. Proces zagęszczania kończy się, gdy powierzchnia zaczyna się szklić, co świadczy o odpowiednim zagęszczeniu betonu.

Pielęgnacja betonu

1. Pielęgnacja betonu powinna rozpocząć się niezwłocznie po wbudowaniu i zagęszczeniu mieszanki i być prowadzona przez odpowiednio długi czas, adekwatny do warunków dojrzewania betonu.
2. Najskuteczniejszą metodą pielęgnacji betonu jest pozostawienie go w deskowaniach.
3. W przypadku swobodnych powierzchni należy zastosować pielęgnację tymczasową jeszcze przed wykończeniem powierzchni. Dotyczy to zwłaszcza betonowania w warunkach sprzyjających silnemu parowaniu wody z betonu, takich jak wysoka temperatura, wiatr, czy suche powietrze.
4. Pielęgnacja betonu wymaga stałego nadzoru nad prawidłowością wykonywanych zabiegów oraz bieżącego monitorowania warunków temperaturowych i atmosferycznych dojrzewającego betonu. W przypadku zmiennych warunków środowiskowych zaleca się stosowanie metody oceny dojrzałości betonu jako miarodajnego kryterium zakończenia pielęgnacji. Prawidłowa dokumentacja stanowi dowód wykonania pielęgnacji zgodnie z projektem, normami i OWPB. Monitorowanie procesu oraz rejestr parametrów umożliwia Załącznik 1 do OWPB.

a) czas trwania pielęgnacji

1. Czas trwania pielęgnacji betonu ustala projektant w specyfikacji wykonawczej w zależności od znaczenia konstrukcji, klasy ekspozycji na warunki środowiskowe oraz od planowanych obciążeń.
2. W przypadku pielęgnacji zależnej od rozwoju wytrzymałości betonu w strefie powierzchniowej wyróżnia się 4 klasy pielęgnacji [1, 5,6,7]:
 - a) Klasa 1 - przeznaczona jest dla betonu w „łagodnych” warunkach zewnętrznych, takich jak klasy ekspozycji X0 lub XC1. W tej klasie czas pielęgnacji wynosi minimum 12 godzin, pod warunkiem, że początek wiązania betonu nie przekracza 5 godzin, a temperatura powierzchni betonu wynosi co najmniej +5 °C. W tej klasie nie określa się wymaganego procentu wytrzymałości po 28 dniach.
 - b) Klasa 2 - obejmuje przypadki, w których czas pielęgnacji nie jest wyznaczany w godzinach, lecz kontrolowany poprzez osiągnięcie 35% wytrzymałości charakterystycznej betonu po 28 dniach. Jest stosowana w standardowych warunkach, gdy wymagane jest ograniczenie ryzyka pęknięć powierzchniowych i zapewnienie odpowiedniego dojrzewania betonu.
 - c) Klasa 3 - dotyczy sytuacji, w których beton powinien osiągnąć co najmniej 50% wytrzymałości charakterystycznej po 28 dniach. Nie określa się w tym przypadku minimalnego czasu w godzinach – okres pielęgnacji jest powiązany z przyrostem wytrzymałości. Stosuje się ją przy elementach narażonych na średni stopień ekspozycji i konieczność zapewnienia wysokiej jakości powierzchni.
 - d) Klasa 4 - obejmuje najbardziej wymagające warunki, gdzie beton powinien uzyskać co najmniej 70% wytrzymałości charakterystycznej po 28 dniach. Klasa ta stosowana jest przy konstrukcjach szczególnie narażonych na obciążenia i czynniki zewnętrzne, wymagających maksymalnej ochrony powierzchni i właściwej wytrzymałości strefy powierzchniowej.
3. Wybór klasy pielęgnacji, a co za tym idzie minimalnego czasu pielęgnacji, uzależniony jest od wielu czynników:
 - a) warunków obciążenia betonu w okresie dojrzewania oraz stopnia narażenia konstrukcji na czynniki agresywne w czasie eksploatacji, patrz tabela 1;

Tabela 1. Kryteria wyboru klasy pielęgnacji betonu przykładowych konstrukcji [5]

Warunki obciążenia betonu w okresie dojrzewania	Warunki ekspozycji betonu	Zalecana klasa pielęgnacji	Przykłady konstrukcji
Obciążenie nie występuje; brak wymagań co do wczesnej wytrzymałości	X0, XC1	Klasa 1 lub 2	Fundamenty i podbudowy zabezpieczone powierzchniowo lub w gruntach nieagresywnych
	XF, XA, XS, XD, XM, XC2-XC4	Klasa 2	Konstrukcje masywne np. hydrotechniczne, fundamenty w gruntach agresywnych
Występuje obciążenie niewielkie (do 30% użytkowego) lub w specyfikacji określono podwyższone wymagania dla wczesnej wytrzymałości	Wszystkie klasy ekspozycji	Klasa 2 (X0, XC1) lub 3 (pozostałe klasy)	Ściany konstrukcyjne i niekonstrukcyjne, słupy, mury oporowe, posadzki, nawierzchnie
Występuje znaczne obciążenie (>30% użytkowego); konieczne stosowanie dodatkowych podparć tymczasowych, lub w specyfikacji określono wysokie wymagania dla wczesnej wytrzymałości	Wszystkie klasy ekspozycji	Klasa 4	Płyty stropowe, balkonowe, belki, schody

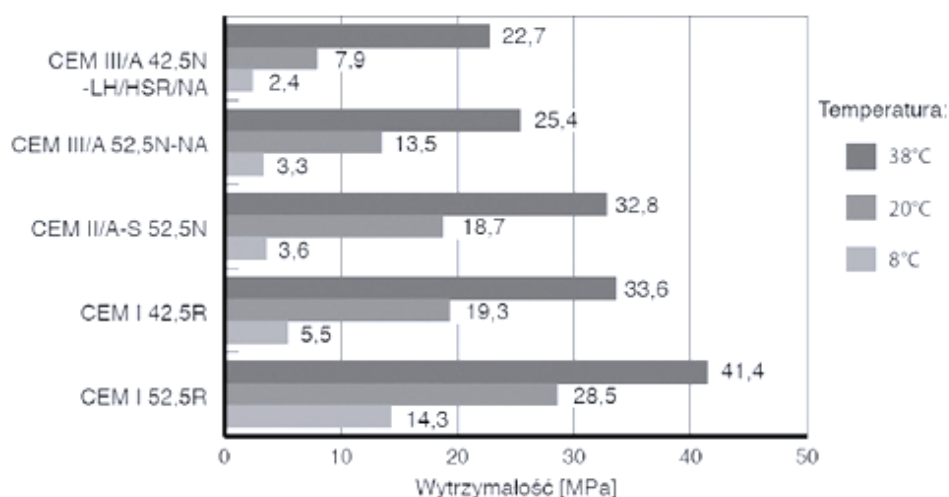
- b) rozwoju wytrzymałości betonu mierzonym stosunkiem średniej wytrzymałości na ściskanie po dwóch dniach (f_{cm2}) do średniej wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach (f_{cm28}), patrz tabela 2; w przypadku cementów o szybkim rozwoju wytrzymałości minimalny czas pielęgnacji będzie najkrótszy;
- c) temperatury powierzchni betonu, patrz tabela 3; zaleca się, aby w temperaturze poniżej 5°C czas pielęgnacji podany w tab. 3-5 był wydłużony o czas, w którym temperatura jest poniżej 5°C.; podwyższona temperatura pozwala uzyskać pożądany poziom wytrzymałości betonu w krótszym czasie, co przekłada się na krótszy minimalny czasu pielęgnacji betonu;
- d) rodzaju zastosowanego cementu i warunków atmosferycznych, patrz tabela 4 i rys.1 .

Tabela 2 Stosunek wytrzymałości na ściskanie betonu dla wybranych cementów i ich rozwój wytrzymałości (badania wykonano na zaprawach normowych) [2, 12]

Rodzaj cementu	CEM I 52,5R	CEM I 42,5R	CEM II/A-S 52,5N	CEM II/B-S 42,5N	CEM II/B-V 32,5R	CEM III/A 32,5N	CEM III/A 42,5N
Stosunek $r = f_{cm2} / f_{cm28}$	0,54	0,50	0,46	0,36	0,38	0,19	0,26
Rzeczywisty wytrzymałości betonu $T=20^{\circ}\text{C}$	szybki $r \geq 0,50$		umiarkowany $0,50 > r \geq 0,30$			wolny $0,30 > r \geq 0,15$	

Tabela 3 Minimalny czas pielęgnacji betonu dla klasy pielęgnacji 2 {3} [4] – odpowiadający przyrostowi przypowierzchniowej wytrzymałości betonu równemu 35% [50%] [70%] projektowanej 28-dniowej wytrzymałości charakterystycznej, oraz temperatury powierzchni betonu; wg EN 13670 [1, 5,6,7]

Temperatura powierzchni betonu T_b ($^{\circ}\text{C}$)	Minimalny czas pielęgnacji betonu (dni)		
	Rzeczywisty rozwój wytrzymałości betonu		
	$r = (f_{cm2} / f_{cm28})$		
	szybki $r \geq 0,50$	umiarkowany $0,50 > r \geq 0,30$	wolny $0,30 > r \geq 0,15$
($T_b \geq 25$)	1,0 {1,5} [3]	1,5 {2,5} [5]	2,5 {3,5} [6]
($25 > T_b \geq 15$)	1,0 {2,0} [5]	2,5 {4} [9]	5 {7} [12]
($15 > T_b \geq 10$)	1,5 {2,5} [7]	4 {7} [13]	8 {12} [21]
($10 > T_b \geq 5$)	2,0 {3,5} [9]	5 {9} [18]	11 {18} [30]



Rys. 1 Wytrzymałość na ściskanie zapraw normowych w różnych temperaturach [7, 12]

Tabela 4 Minimalny czas pielęgnacji betonu w zależności od zastosowanego rodzaju cementu [7]

Warunki atmosferyczne			Minimalny czas pielęgnacji [dni]		
Nasłonecznienie	Wiatr	Wilgotność względna powietrza	CEM I	CEM II	CEM III
silne	silny	< 50%	2	4	5
średnie	średni	50 – 80%	1	3	4
słabe	Słaby	> 80%	1	2	3

b) metoda pielęgnacji

- Dobór właściwej metody pielęgnacji powinien wynikać z rodzaju i geometrii elementu konstrukcyjnego, rodzaju zastosowanego betonu oraz możliwości technicznych wykonawcy. Może to być [5]:
 - pozostawienie betonu w deskowaniach,
 - systematyczne zraszanie powierzchni betonu (szczególnie we wczesnej fazie dojrzewania betonu),
 - nawilżanie powierzchni betonu poprzez zraszanie i zatrzymanie wody przy pomocy włókien
 - zalewanie całej powierzchni betonu wodą i stałe utrzymywanie warstwy wody,
 - pokrycie powierzchni preparatami błonotwórczymi (żywicznymi lub parafinowymi),
 - pokrycie arkuszami (pasmami) folii PE.
- Z praktycznego punktu widzenia:
 - betony o wskaźniku $w/c \geq 0,50$ należy chronić przed odparowywaniem wody,
 - betony o $w/c < 0,50$ wymagają nie tylko ochrony, lecz również dodatkowego nawilżania poprzez regularne zraszanie powierzchni.
- Pielęgnacja mokra – zgodnie ze starym przysłowiem: „jak najmniej wody do betonu, a jak najwięcej na beton”, polega na utrzymywaniu stałego kontaktu powierzchni betonu z wodą od momentu, gdy beton będzie odpowiednio twardy. Metoda ta jest szczególnie zalecana w okresach wysokich temperatur, silnego nasłonecznienia i przy wietrznej pogodzie, gdy parowanie wody z betonu następuje bardzo intensywnie. Podczas pielęgnacji należy unikać gwałtownych zmian temperatury — nie wolno polewać nagrzanego betonu zimną wodą, aby nie doprowadzić do tzw. „szoku termicznego”, który może powodować mikropęknięcia.
- Pielęgnacja betonu za pomocą osłon zewnętrznych - polega na utworzeniu bariery zabezpieczającej przed utratą ciepła wytwarzanego podczas wiązania betonu oraz ograniczającej odparowanie wody z jego powierzchni. W każdym przypadku przykrycie betonu należy wykonać w sposób zapewniający szczelność osłony oraz równomierne pokrycie wszystkich powierzchni. Najczęściej stosowane metody obejmują:
 - Okrywanie betonu folią lub matą – pełnią funkcję ochronną, arkusze folii lub maty powinny zachodzić na siebie, a brzegi starannie zabezpieczone przed podrywaniem przez wiatr. Powierzchnia betonu powinna być stale wilgotna zarówno przed przykryciem jak i już pod folią / matą. Należy uwzględnić możliwość powstawania miejscowych przebarwień powierzchni betonu (wykwitów) wskutek nierównomiernej kondensacji pary wodnej na folii / macie przylegającej do betonu. W warunkach intensywnego nasłonecznienia zaleca się stosowanie folii jasnej, odbijającej promieniowanie, natomiast jesienią i zimą dopuszczalne jest stosowanie folii czarnej.
 - Ochrona za pomocą namiotu – stosowana przede wszystkim w celu zabezpieczenia świeżego betonu przed intensywnym deszczem, silnym nasłonecznieniem i wiatrem. W warunkach zimowych namiot może być dodatkowo wyposażony w system nadmuchu ciepłego powietrza.
- Stosowanie preparatów do pielęgnacji betonu - polega na naniesieniu cienkiej warstwy filmu zabezpieczającego na świeżo ułożoną i zagęszczoną mieszankę betonową. Dla uzyskania skutecznego efektu należy równomiernie rozprowadzić preparat, unikając spływania na powierzchniach pionowych i w razie potrzeby powtórzyć aplikację.

c) Betonowanie w warunkach obniżonych temperatur

- Betonowanie w warunkach zimowych, tj. przy temperaturach poniżej $+10^{\circ}\text{C}$, wymaga przygotowania technologicznego i organizacyjnego. Temperatura powietrza poniżej $+5^{\circ}\text{C}$ spowalnia reakcję hydratacji cementu, natomiast temperatura krytyczna to około -1°C , przy której w betonie może zamarzać blisko połowa wody wolnej, co może zatrzymać procesy wiązania [9].

2. Obecność wody, która nie zdążyła jeszcze wejść w reakcje chemiczne z cementem przyczynia się do możliwości zamarznięcia świeżo ułożonego betonu. Zjawisko to jest wynikiem rozszerzania się wody znajdującej się w mieszance podczas przemiany fazowej z cieczy w lód, co zwiększa jej objętość o około 9,2% [10]. Jeśli woda w świeżym betonie zamarza, a jednocześnie nie ma przestrzeni na rozszerzenie, może dojść do mikropęknięć i osłabienia betonu. Uszkodzenie pierwszych wiązań krystalicznych przez zamarzającą wodę prowadzi do nieodwracalnych zmian. Zimowe zamarzanie, nawet jeśli nie niszczy całkowicie struktury betonu, wpływa negatywnie na jego właściwości fizyczne. Betony, które przy zamarznięciu nie osiągnęły odporności pełnej po odmrożeniu i kontynuacji procesu wiązania, będą wykazywać niższą wytrzymałość na ściskanie oraz obniżone parametry w zakresie wodoszczelności i odporności na mróz.
3. Zamrożenie betonu jest dopuszczalne dopiero po osiągnięciu przez niego odpowiedniego poziomu odporności na zamrożenie, co odpowiada określonej, bezpiecznej wytrzymałości. Za krytyczny uznaje się okres między początkiem wiązania a momentem uzyskania przez beton wytrzymałości minimalnej, wynoszącej 5 MPa - odporność pełna przy CEM I (przy innym cemencie to 10 MPa) lub też w przypadku odporności warunkowej 3,5 MPa gdy beton zawiera CEM I (przy innym cemencie to 8 MPa) i nie przedostaje się do niego woda z otoczenia [9].
4. Przed rozpoczęciem robót należy upewnić się, że podłoże, zbrojenie i deskowanie są wolne od lodu i śniegu. Istotne jest również stosowanie mieszanek z obniżonym współczynnikiem w/c (czyli mieszanek o gęstszej konsystencji). Zasadnym jest też zamawianie mieszanki z większą ilością cementu o 5-15% (wyższej klasy wytrzymałości, niż zalecana w normalnych warunkach temperaturowych). Temperatura mieszanki podczas zabudowy nie powinna być niższa niż +5°C.
5. W celu utrzymania odpowiednich warunków BETONBEST stosuje mieszanki betonowe z użyciem cementów wysokich klas wytrzymałościowych (np. 42,5; 52,5), o szybkim przyroście wytrzymałości cementu (R) i/lub z użyciem domieszek przyspieszających wiązanie.
6. W celu ochrony młodego betonu przed utratą ciepła i wilgoci zaleca się stosować następujące metody pielęgnacyjne, przy czym należy pamiętać o kontrolowaniu stanu wilgotności betonu i różnicy pomiędzy wewnątrz a powierzchnią betonu uważając na naprężenia termiczne:
 - a) metoda zachowania ciepła betonu poprzez osłanianie świeżego betonu matami termoizolacyjnymi lub styropianem, aby zapobiec zbyt szybkiemu wychłodzeniu i stratom ciepła pochodzącego z reakcji egzotermicznych betonu,
 - b) metoda dostarczenia ciepła do betonu - podgrzewanie betonu parą niskoprężną, ciepłym powietrzem, za pomocą instalacji elektrycznej, aby przyspieszyć wiązanie; inne metody to podgrzewanie deskowań lub użycie mat grzewczych,
 - c) ciepłaki (namioty grzewcze), całkowicie izolujące beton i chroniące przed czynnikami zewnętrznymi, zapewniające stabilne warunki termiczne.

d) w warunkach podwyższonych temperatur

1. W okresie letnim prace betonowe należy chronić mieszankę betonową przed wpływem wysokiej temperatury. Podwyższona temperatura przyspiesza proces hydratacji cementu, co skutkuje z jednej strony skróceniem czasu wiązania betonu i szybszym narastaniem wytrzymałości, a z drugiej prowadzi do obniżenia wytrzymałości normowej w początkowej fazie dojrzewania betonu. Dodatkowo, zwiększone tempo odparowywania wody z mieszanki może utrudniać utrzymanie odpowiedniej konsystencji, ale też prowadzić do powstawania spękań, w tym spękań od skurczu plastycznego. Krytyczna szybkość parowania wody wynosi 1,0 kg/m²/h, a jej wzrost jest dodatkowo stymulowany przez wiatr o prędkości powyżej 4,5 m/s.
2. Aby zapewnić prawidłowe wykonanie i trwałość konstrukcji w warunkach podwyższonych temperatur, należy przestrzegać następujących zasad:
 - a) przed wylaniem mieszanki odpowiednio zwilżyć powierzchnie chłonne i oczyścić z zanieczyszczeń starszą warstwę betonu,
 - b) uwzględnić utratę urabialności mieszanki betonowej,
 - c) rozpocząć prace wykończeniowe w odpowiednim czasie,

- d) zminimalizować ryzyko nadmiernego nagrzania betonu (np. przez polewanie betonomieszarki wodą)
 - e) zabezpieczyć świeżo wylany beton przed bezpośrednim nasłonecznieniem oraz działaniem silnego wiatru,
 - f) zwrócić szczególną uwagę na pielęgnację betonu, utrzymując odpowiednią wilgotność i temperaturę.
3. Przykładowe metody pielęgnacji betonu w warunkach budowy, uzależnione od temperatury i wilgotności względnej powietrza, przedstawiono w tabeli 5 [12]. Należy je traktować jako wskazówki orientacyjne – rzeczywiste metody pielęgnacji powinny być każdorazowo dostosowane do specyfiki danej budowy oraz aktualnie panujących warunków atmosferycznych, przy jednoczesnym uwzględnieniu wytycznych określonych w OWPB.

Tabela *Pielęgnacja w warunkach budowy* [12]

L.p.	Warunki atmosferyczne	Metody pielęgnacji
1	Naturalne: T_{sr} nie niższa niż +10°C i nie wyższa niż +25°C Wilgotność powietrza względna 55-75%	– osłonięte powierzchnie betonowe utrzymywać przez wymagany okres w stanie ciągłego zawilgocenia lub przykryć folią
2	Nasłonecznienie: T_{sr} powyżej +25°C	– osłonięte powierzchnie betonowe utrzymywać w ciągłej wilgotności, najlepiej przez zraszanie wodą; – przykryć folią oraz dodatkowymi matami lub plandekami; – odeskowanie chronić przed nagrzewaniem; – po rozdeskowaniu nowe wyeksponowane powierzchnie chronić przed słońcem i wiatrem
3	Obniżone temperatury: T_{sr} nie niższa niż +5°C i nie wyższa niż +10°C	– osłonięte powierzchnie betonu przykryć folią, suchymi matami lub plandekami
4	Warunki zimowe: T_{sr} nie niższa niż -3°C i nie wyższa niż +5°C	– osłonięte powierzchnie betonowe chronić przed wysychaniem, opadami i schłodzeniem za pomocą folii, suchych mat lub plandek – w razie potrzeby ogrzewać
5	Warunki zimowe: T_{sr} poniżej -3°C	– utrzymywać temperaturę betonu na poziomie +10°C przynajmniej przez pierwsze 3 dni
T_{sr} – Średnia temperatura dobowa		

Pękanie betonu

a) pękanie na skutek skurczu plastycznego

- Proces skurczu rozpoczyna się wraz z ubytkiem wody w strukturze zaczynu cementowego, a jego intensywność maleje z upływem czasu. Skurcz plastyczny pojawia się na etapie świeżo ułożonego betonu przed rozpoczęciem procesów twardnienia. Zarysowania i pęknięcia betonu na skutek skurczu plastycznego spowodowane są zbyt szybkim odparowaniem wody niezaangażowanej w proces hydratacji cementu z powierzchni betonu. Na wielkość odparowania wody ma wpływ temperatura wbudowanego betonu, temperatura powietrza i wiatr.
- Niedopuszczalne jest przesuszenie młodego betonu, które zakłóca proces hydratacji, a nawet może bezpowrotnie ją przerwać. Częściowe zakłócenie procesu dojrzewania prowadzi do obniżenia końcowej oczekiwanej wytrzymałości betonu i trwałości konstrukcji.

b) pękanie na skutek skurczu wysychania i skurczu autogenicznego

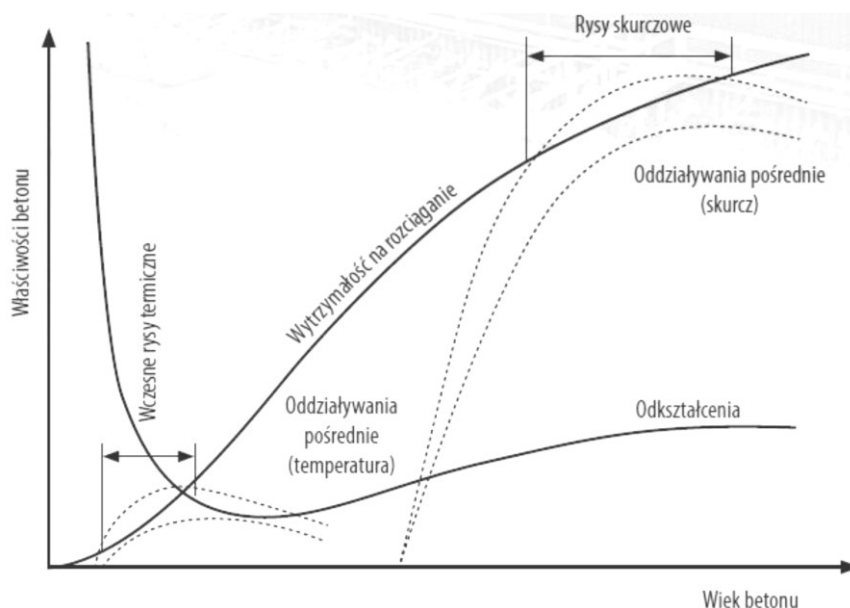
- Po rozpoczęciu wiązania występuje zjawisko zwane skurczem wysychania i skurczem autogenicznym. W ciągu pierwszych 14 dni dojrzewania zachodzi ok. 14–34% całkowitego skurczu, w ciągu 3 miesięcy – 40–80%, natomiast po roku – 66–85% całkowitych odkształceń [7]. Skurcz nie jest zjawiskiem krótkotrwałym, narasta stopniowo i może występować nawet po kilkudziesięciu latach od wykonania elementu. Choć

całkowite wyeliminowanie zmian skurczowych nie jest możliwe, ich intensywność można istotnie ograniczyć poprzez stosowanie właściwych metod pielęgnacji opisanych w OWPB.

2. Pojawienie się rys i pęknięć można zminimalizować, gdy odkształcenia pozbawione swobody (wbudowane elementy zbrojenia, tarcie o deskowanie, tarcie o podłoże itp.) nie wywołują naprężeń przekraczających w danej chwili wytrzymałości betonu na rozciąganie.

c) pękanie na skutek rys termicznych

1. Na powstawanie rys wynikających z różnic temperatur występujących pomiędzy wnętrzem a powierzchnią betonu narażone są elementy masywne. Zjawisko to spowodowane jest wydzielaniem ciepła podczas procesu hydratacji cementu, w wyniku którego temperatura w rdzeniu elementu może znacząco przewyższać temperaturę jego zewnętrznych warstw. W przypadku zbyt dużego gradientu termicznego powstają naprężenia rozciągające, które – po przekroczeniu chwilowej wytrzymałości betonu na rozciąganie – prowadzą do zarysowań, mogących obejmować całą objętość konstrukcji.
2. Największe ryzyko wystąpienia rys termicznych przypada na początkowy etap dojrzewania betonu (patrz rys. 2), kiedy tempo reakcji hydratacji jest najwyższe. W celu ograniczenia tego zjawiska należy stosować odpowiednie zabiegi technologiczne ukierunkowane na:
 - a) obniżenie temperatury maksymalnej podczas twardnienia betonu,
 - b) zmniejszenie różnic temperatur pomiędzy wnętrzem a powierzchnią elementu,
 - c) zapewnienie równomiernego rozkładu ciepła w całym przekroju.



Rys. 2 Właściwości mechaniczne betonu i zagrożenie tworzenia się rys w twardniejącym betonie

3. Zaleca się, aby gradient temperatur nie przekraczał $20^{\circ}\text{C}/\text{m}$, natomiast maksymalna temperatura wewnętrzna betonu w konstrukcjach masywnych nie powinna być wyższa niż 65°C .
4. Pękanie pod wpływem temperatury może wystąpić również wskutek różnicy temperatur między betonem a otoczeniem. Na etapie pielęgnacji skutecznym środkiem ograniczającym zbyt szybkie wychładzanie powierzchni jest zastosowanie izolacji termicznej, np. w postaci płyt styropianowych lub mat termoizolacyjnych. Innym sposobem jest pozostawienie betonu w dekowaniu tak długo, jak to możliwe. W przypadku posadzek zaleca się wykonanie szczeliny dylatacyjnej tak szybko, jak to możliwe.

d) pękanie na skutek osiadania plastycznego

1. Zjawisko pękania na skutek osiadania plastycznego występuje w wyniku osiadania młodego betonu, szczególnie w wysokich elementach konstrukcyjnych, takich jak ściany i słupy. W płytach betonowych może objawiać się w postaci pęknięć pojawiających się nad zbrojeniem.

2. Aby ograniczyć ryzyko zminimalizowania powstawania pęknięć na skutek osiadania plastycznego zaleca się, aby:
- a) beton podawać warstwami,
 - b) zagęszczanie prowadzić równomiernie na całej wysokości elementu,
 - c) proces zagęszczania zakończyć w ciągu jednej godziny od momentu wbudowania mieszanki,
 - d) w przypadku pojawienia się pęknięć plastycznych niezwłocznie wyrównać powierzchnię, aby je zamknąć, następnie kontynuować właściwą pielęgnację betonu.

Dokumenty odniesienia

- [1] EN 13670 *Wykonywanie konstrukcji betonowych*
- [2] EN 206 *Beton. Specyfikacja, właściwości użytkowe, produkcja i zgodność*
- [3] PN-B-06265 *Beton. Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność – Krajowe uzupełnienie PN-EN 206*
- [4] PN-88/B-06250 *Beton zwykły*
- [5] Bajorek, G. (2014), *Cele i rola pielęgnacji i ochrony młodego betonu*, Referat przedstawiony na konferencji Dni Betonu, Wiśła.
- [6] Bajorek, G. (2018), *Pielęgnacja betonu – planowanie i realizacja*. Referat przedstawiony na konferencji Dni Betonu 2018, Wiśła.
- [7] Giergiczny, Z. (Red.) (2016), *Vademecum Technologa Betonu*, Góraźdże.
- [8] Stowarzyszenie Betonu Towarowego w Polsce. (n.d.). *Broszura: Jak pielęgnować beton*.
- [9] Jamróży Z. *Beton i jego technologie* Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2005
- [10] Bajorek, G. (2012), *Roboty betonowe w okresie zimowym – czy domieszki rozwiążą problemy? Inżynier Budownictwa*.
- [11] Kołacz, Z., Gajewski, R. (2004), *Wykorzystanie mieszanek betonowych w obniżonych temperaturach*. Budownictwo. Technologie. Architektura, (4).
- [12] Giergiczny, Z. (2016), *Pielęgnacja betonu – niedoceniany problem*. Inżynier Budownictwa, 10, 69-74.

Zał. 1 Arkusz kontrolny przebiegu pielęgnacji [6]

[illegible]