

ie i e g o l o n h c t e c t e c t e c

Pielęgnacja betonu

Każdy wbudowany beton wymaga pielęgnacji. Szczegółnej pielęgnacji wymaga beton dojrzewający w warunkach innych niż naturalne, które z reguły określane są jako mieszczące się pomiędzy średnimi dobowymi temperaturami w zakresie od +10°C do +25°C, przy wysokiej względnej wilgotności powietrza na poziomie 55-75%. Mamy okres letni, kiedy spodziewać się można ekstremalnych warunków, zwłaszcza temperaturowych. Warto zatem przypomnieć kilka podstawowych, praktycznych zasad prowadzenia tego istotnego zabiegu technologicznego.

Pielęgnacja jest etapem działań technologicznych związanych z tworzeniem konstrukcji najczęściej niedocenianym i najczęściej zaniechanym w warunkach realizacji obiektu. A przecież jest tak samo ważna jak pozostałe elementy technologii betonu – począwszy od opracowania odpowiedniej receptury, poprzez procesy produkcyjne mieszanki betonowej, jej transport, aż do wbudowania i zagęszczenia. Negatywne skutki braku pielęgnacji mogą być bardzo istotne dla nośności konstrukcji, jej użyteczności czy trwałości.

Cel i zakres koniecznej pielęgnacji betonu najlepiej scharakteryzowany jest w projekcie normy europejskiej ENV 13670-1 [1], gdzie zapisano w p. 8.5: Beton we wczesnym okresie należy pielęgnować i chronić:

- aby zminimalizować skurcz plastyczny
- aby zapewnić odpowiednią wytrzymałość powierzchniową
- aby zapewnić odpowiednią trwałość strefy powierzchniowej
- przed zamarzaniem
- przed szkodliwymi drganiami, uderzeniami lub uszkodzeniami.

Przesuszenie świeżo dojrzewającego betonu powoduje nieodwracalne zahamowanie procesów hydratacji. To skutkuje obniżeniem docelowej jego wytrzymałości, zbudowaniem struktury bardziej porowatej, a tym samym mniej odpornej na czynniki korozyjne. Często towarzyszącym zjawiskiem są zarysowania czy nawet spękania betonu wynikające z nadmiernego skurczu twardnienia. Takie efekty,



Fot. 1. Zarysowania wierzchniej warstwy posadzki przemysłowej

oprócz obniżenia walorów użytkowych czy estetycznych (fot. 1) mogą zagrażać nawet nośności konstrukcji lub jej trwałości (fot. 2, 3, 4). Możliwość przesuszenia wbudowanego betonu sprzyja wysoka temperatura otoczenia (zwłaszcza nasłonecznienie), niska wilgotność powietrza oraz wiatr. Odwrotnie, duża wilgotność czy opady deszczu zabezpieczają go przed wysychaniem. Zdarza się jednak, że roboty betonowe prowadzone są w trakcie opadów atmosferycznych albo wykonawca zaskakiwany jest nagłymi załamaniem pogody – w takiej sytuacji niezabezpieczona powierzchnia betonu, który nie rozpoczął jeszcze wiązania, narażona jest na uszkodzenia mechaniczne od uderzeń kropli deszczu i na rozmywanie powierzchni (fot. 5). W robotach o dużych odkrytych powierzchniach (nawierzchnie placów, dróg, powierzchnie płyt stropowych, fundamentowych) praktycznie niemożliwe jest szybkie i sprawne ich zabezpieczenie (np. foliami, matami), gdyż nie ma możliwości chodzenia po jeszcze miękkim betonie. Podobnie, obniżone temperatury otoczenia korzystnie wpływają na spowolnienie wysychania. Po osiągnięciu jednak temperatury zamarzania wody doprowadzają do uszkodzeń wbudowanego betonu, zwłaszcza powierzchniowych (fot. 6). Do zarysowań świeżo ułożonej mieszanki betonowej mogą doprowadzić źle przygotowane deskowania lub niedostatecznie zabezpieczone przed drganiami (fot. 7). Mogą być także powodowane nierównomiernym rozkładem temperatury w elemencie – będącym efektem samoogrzewania betonu ciepłem hydratacji (zwłaszcza konstrukcje masywne) lub



Fot. 2. Zarysowania płyty mostowej wskutek skurczu plastycznego



Fot. 3. Pęknięcie płyty stropowej wskutek skurczu twardnienia



Fot. 4. Pęknięcie ściany zbiornika wskutek skurczu twardnienia

ogrzewaniem ze źródła zewnętrznego (np. promieniowanie słoneczne).

Jak przedstawiono powyżej, skutki braku ochrony betonu mogą być bardzo poważne. Jest ona zatem konieczna. Planując pielęgnację należy rozstrzygnąć dwie podstawowe kwestie – jaką należy zastosować metodę oraz jak ona ma długo trwać.

Wybór metody jest odpowiedzią na zagrożenie.

Jeśli zagrożeniem jest przesuszenie betonu, należy go zabezpieczyć przed utratą wody zarobowej. W zależności od rodzaju konstrukcji i możliwości technicznych budowy możemy zastosować:

- pozostawienie betonu w deskowaniach (np. elementy ścian, słupów, żeber, podciągów, ram, stropów, itp.) – o ile to możliwe ze względu na duże koszty przetrzymywania deskowań
- nawilżanie powierzchni betonu poprzez polewanie, a we wczesnej fazie dojrzewania wyłącznie poprzez zraszanie, by nie uszkodzić mechanicznie słabej powierzchni (np. górne odkryte powierzchnie zabetonowanych elementów jw., powierzchnie posadzkowe, płyty itp.) – dość trudne w realizacji z uwagi na konieczny dostęp do dużej ilości wody bieżącej (koszty!) oraz wymagające dużej systematyczności w powtarzaniu zabiegu, również po zakończeniu zmiany roboczej, w weekendy (zwłaszcza w warunkach ekstremalnych – wysoka temperatura, nasłonecznienie, wiatr); dodatkowe zagrożenia to możliwość szoku termicznego dla elementu konstrukcyjnego przy dużej różnicy temperatur (zimna woda – rozgrzany element)
- nawilżanie powierzchni betonu poprzez polewanie i zatrzymanie wody przy pomocy włóknin (elementy jw.); może być inny materiał chłonny, ale znacznie mniej wygodny w stosowaniu (np. znane w przeszłości maty słomiane, piasek); metoda znacząco lepsza od poprzedniej – zdecydowanie zmniejsza częstotliwość polewania oraz ilość zużywanej wody, minimalizuje możliwość zapomnienia o polewaniu – czas całkowitego przesuszenia jest dużo dłuższy niż dla powierzchni odkrytej; bardzo często stosowana w budownictwie mostowym (fot. 8)
- zalewanie całej powierzchni betonu wodą i stałe utrzymywanie warstwy wody (np. płyty denne zbiorników, płyty fundamentowe itp.); metoda trudna w realizacji, gdyż wymaga dodatkowego ukształtowania „basenu”, np. poprzez obmurowanie, utrudnia dalsze prowadzenie robót, ale ochrona jest skuteczna, zwłaszcza w zakresie skurczu betonu – stąd często stosowana w budownictwie hydrotechnicznym
- ochrona betonu przed odparowaniem wody wprowadzonej do betonu na etapie jego wytwarzania i w budowywania poprzez pokrycie powierzchni preparatami błonotwórczymi (żywicznymi lub parafinowymi) – stosowana zwłaszcza do pokrywania elementów wielkopowierzchniowych, np. posadзки (fot. 9), drogi, płyty parkingowe, płyty lotniskowe (fot. 10); metoda bardzo skuteczna, wykorzystująca prostą zasadę technologii betonu – ilość wody wprowadzonej do mieszanki betonowej w trakcie produkcji jest 3 do 4 razy większa od ilości wody potrzebnej do hydratacji cementu – wystarczy więc zatrzymać ją we wnętrzu dojrzewającego betonu; w zależności od docelowego przeznaczenia powierzchni

betonu stosuje się preparaty żywiczne, trudne do ściągnięcia, lub parafinowe, praktycznie samozluszczające się; ograniczeniem w stosowaniu jest konieczność zdjęcia warstw powłokowych w przypadku dalszego betonowania konstrukcji lub nanoszenia innych materiałów na konstrukcję (np. zapraw, klejów, powłok malarskich itp.)

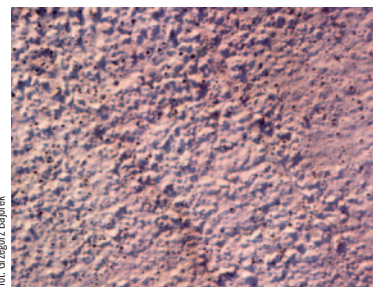
- ochrona betonu przed odparowaniem wody jw. przy pomocy arkuszy (pasm) folii PE; mniej skuteczna od preparatów powłokowych z uwagi na nieciągłość materiału chroniącego; podatna na zrywanie i przenoszenie przez wiatr; ogranicza w pewnym zakresie swobodę prowadzenia dalszych robót.

Jeśli zagrożeniem jest zbyt duże zróżnicowanie temperatury dojrzewającego betonu, należy zapewnić, aby ciepło będące efektem hydratacji było wyprowadzane w miarę możliwości równomiernie i swobodnie oraz aby element nie był zbędnie dogrzewany zewnętrznym źródłem ciepła (np. poprzez promieniowanie słoneczne). Ochrona betonu w tym zakresie ukierunkowana będzie na:

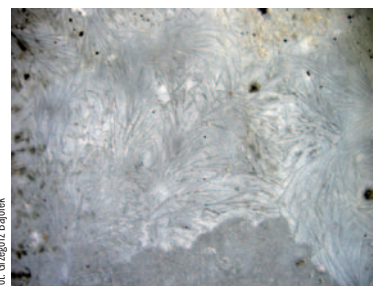
- dobór odpowiedniej receptury betonu (zwłaszcza w zakresie cementu – jego kaloryczności, dodatków mineralnych) w odniesieniu do rodzaju konstrukcji (zwłaszcza jej masywności)
- dobór odpowiednich parametrów technologicznych produkcji i w budowywania betonu (zwłaszcza w zakresie temperatury mieszanki betonowej)
- ochrona powierzchni betonu poprzez ostonięcie: folią (zabezpieczenie przed nierównomiernym lub nadmiernym schładzaniem wiatrem), folią bąbelkową (zabezpieczenie przed nadmierną utratą ciepła lub nadmiernym nagrzewaniem), płytami styropianowymi (skuteczniejsze zabezpieczenie jw.), czarną folią (dodatkowe dogrzewanie powierzchni betonu od promieniowania słonecznego).

Pozostaje ustalenie czasu trwania pielęgnacji. W tym celu najsensowniejsze wydaje się zacytowanie wymagań wspomnianej wyżej normy [1]. Uzależnia ona ustalenie czasu pielęgnacji od następujących czynników:

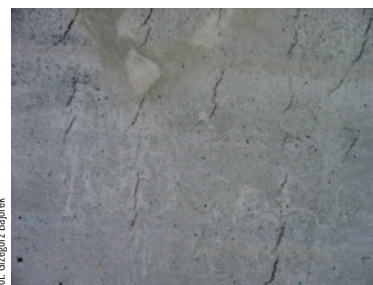
- klasy ekspozycji betonu według wymagań normy PN-EN 206-1:2003 [2], równoznacznych z określonymi przez projektanta konstrukcji według PN-B-03264:2002 [3]
- temperatury powierzchni betonu



Fot. 5. Brak zabezpieczenia powierzchni parkingu przed deszczem w trakcie betonowania



Fot. 6. Uszkodzenie powierzchni wskutek przemrożeń świeżego betonu



Fot. 7. Zarysowania remontowanej płyty mostowej wskutek drgań od sąsiedniego przęsła w czasie betonowania

Fot. 8. Zabezpieczenie betonu włókniną polewaną wodą



Tablica 1. Minimalny okres pielęgnacji dla klas innych niż X0 i XC1 wg [2]

Temperatura powierzchni betonu (t), °C	Minimalny okres pielęgnacyjny, (w dniach) ^{1), 2)}			
	Rozwój wytrzymałości betonu ⁴⁾ ($f_{cm2} / f_{cm28} = r$)			
	szybki $r \geq 0,50$	średni $r = 0,30$	powolny $r = 0,15$	bardzo powolny $r < 0,15$
$t \geq 25$	1	1,5	2	3
$25 > t \geq 15$	1	2	3	5
$15 > t \geq 10$	2	4	7	10
$10 > t \geq 5$ ³⁾	3	6	10	15

UWAGI:
 1. Plus każdy okres wiązania przekraczający 5 godzin.
 2. Dopuszczalna jest interpolacja liniowa pomiędzy wartościami w wierszach.
 3. Dla temperatur poniżej 5°C czas trwania pielęgnacji powinien być zwiększony o okres, kiedy temperatura jest poniżej 5°C.
 4. Rozwój wytrzymałości betonu jest mierzony stosunkiem średniej wytrzymałości na ściskanie po 2 dniach f_{cm2} , do średniej wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach f_{cm28} , wyznaczonych na podstawie badań wstępnych lub opartych na wartościach charakteryzujących beton o porównywalnym składzie.

Tablica 2. Minimalny czas pielęgnacji mokrej świeżo ułożonego betonu

Warunki atmosferyczne	Minimalny czas pielęgnacji		
	Cement portlandzki CEM I	Cement portlandzki mieszany CEM II	Cement hutniczy CEM III
Silne nasłonecznienie Silny wiatr Wilgotność względna powietrza <50%	2 dni	4 dni	5 dni
Średnie nasłonecznienie Średni wiatr Wilgotność względna powietrza 50-80%	1 dzień	3 dni	4 dni
Słabe nasłonecznienie Słaby wiatr Wilgotność względna powietrza >80%	1 dzień	2 dni	3 dni

- wskaźnika rozwoju wytrzymałości betonu $r = (f_{cm2} / f_{cm28})$, określającego stosunek wytrzymałości 2-dniowej do wytrzymałości 28-dniowej, a więc wyrażającego w zasadzie możliwości zastosowanego rodzaju cementu.

Dla betonów narażonych na działanie czynników zewnętrznych według klas X0 lub XC1 (z praktycznego punktu widzenia rzadko występujące) norma

Fot. 9. Zabezpieczenie płyty posadzkowej preparatem powłokowym



Fot. Grzegorz Bajorek

wskazuje minimalny czas trwania pielęgnacji na 12 godzin, pod warunkiem że wiązanie nie trwa dłużej niż 5 godzin oraz że temperatura powierzchni betonu jest $\geq 5^\circ\text{C}$.

W klasach innych niż X0 lub XC1 beton powinien być pielęgnowany do chwili, gdy wytrzymałość powierzchni betonu osiągnie co najmniej 50% wymaganej wytrzymałości na ściskanie. Załącznik E (informacyjny) do normy [1] podaje (tablica 1) sugerowane minimalne okresy pielęgnacji zapewniające spełnienie takiego warunku.

Z zaleceń przedstawionych w tablicy 1 wyraźnie widać, że czas trwania pielęgnacji może sięgnąć nawet kilkunastu dni. W podsumowaniu należy raz jeszcze podkreślić, że jest to czas równie ważny jak czas poświęcony wcześniejszym zabiegom technologicznym związanym z przygotowaniem i wbudowaniem betonu. Szczególnie ważny zaś dla betonów o specjalnych wymaganiach ukierunkowanych na trwałość obiektu (wodoszczelność, mrozoodporność, nasiąkliwość). Pamiętać o tym musi oczywiście wykonawca robót, ale powinno to być sprecyzowane także na etapie projektu. Tworząc zalecenia (specyfikacje do projektu) można wykorzystywać zasady sformułowane w projekcie normy [1], która dzięki inicjatywie i staraniom Stowarzyszenia Producentów Betonu Towarowego została przetłumaczona i jest dostępna w zbiorach PKN.

Zawarte w tablicy 1 wymagania nie są oczywiście trudne do interpretacji, ale wymagają szczegółowej wiedzy odnośnie temperatury dojrzewającego betonu (konieczny monitoring) oraz wskaźnika rozwoju wytrzymałości (który powinien być ustalony na etapie badań wstępnych). Warto więc skorzystać z uproszczonej wersji takich zaleceń podawanych w poradnikach – zestawiono je w tablicy 2. Na podstawie prostych skojarzeń z opisem warunków pogodowych oraz ogólnej wiedzy o betonie (zastosowany rodzaj cementu) łatwo i szybko można zdecydować o koniecznym czasie trwania pielęgnacji.

dr inż. Grzegorz Bajorek
Politechnika Rzeszowska
Centrum Technologiczne Budownictwa
przy Politechnice Rzeszowskiej

Literatura

- 1 ENV 13670-1:2000 Wykonywanie konstrukcji betonowych. Część 1: Uwagi ogólne.
- 2 PN-EN 206-1:2003 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
- 3 PN-B-03264:2002 Konstrukcje betonowe, żelbetonowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie



Fot. 10. Zabezpieczenie płyty lotniskowej preparatem powłokowym

Fot. Grzegorz Bajorek