

# Potrzeba pielęgnacji betonu

Dr inż. Grzegorz Bajorek, Politechnika Rzeszowska

"TECH-BUD"2017

## 1. Wprowadzenie

Projektant konstrukcji betonowej (specyfikujący), wykorzystując zalecenia norm do projektowania (zwłaszcza Eurokodu 2 [1]), dobiera odpowiednie do warunków jej pracy charakterystyki materiałowe. Mają one zapewnić wystarczającą nośność poszczególnych elementów konstrukcyjnych, spełniając jednocześnie warunek oczekiwanej ich trwałości. Dotyczą one zdefiniowanych parametrów wytrzymałościowych określonych klasą wytrzymałości na ściskanie (np. C 30/37) oraz określenia możliwych w trakcie użytkowania konstrukcji oddziaływań korozyjnych poprzez zakwalifikowanie jej do odpowiednich klas ekspozycji (X0, XC, XD, XS, XF, XA, XM). Dodatkowo projektant może (ma prawo) precyzyjnie określić sposób zrozumienia, a później egzekwowania, właściwości specjalnych betonu – np. w zakresie mrozoodporności, ustalając stopień F (np. F150) wg PN-B-06250 [2] lub stopień FT (np. FT2) wg PN-EN 13877-2 [3], lub wodoszczelności, ustalając stopień W (np. W8), także wg PN-B-06250 [2], czy określając dopuszczalną głębokość penetracji wody (np. 50 mm) wg np. OST GDDKiA [4].

Założenia powyższe muszą być później zrealizowane w trakcie wznoszenia obiektu budowlanego. Ten obowiązek jest podzielony pomiędzy dwóch uczestników przedsięwzięcia – producenta betonu oraz wykonawcę robót betonowych. Odpowiedzialność pierwszego za uzyskanie oczekiwanych właściwości kończy się w miejscu dostawy wyrobu (betonu) do odbiorcy. W zależności od sytuacji może to być np. węzeł betoniarski, jeśli wykonawca sam własnymi środkami transportu odbiera beton bezpośrednio z produkcji lub np. ostateczne miejsce wbudowywania betonu w element konstrukcyjny, jeśli producent sprzedaje go z usługą transportu wraz z pompowaniem. Tak jak odpowiedzialność, tak też podzielone są zadania technologiczne pomiędzy producenta betonu i wykonawcę robót.

Producent, w przypadku betonu projektowanego, odpowiada za uzyskanie określonych w zamówieniu (specyfikacji) właściwości betonu, ale odniesionych do warunków laboratoryjnych dojrzewania. Dla uzyskania tych właściwości musi posiadać wdrożoną do produkcji, prawidłowo zaprojektowaną i potwierdzoną badaniami wstępnymi recepturę. Prawidłowy nadzór nad produkcją ujęty w normowy system Zakładowej Kontroli Produkcji zapewnia właściwe dozowanie i wymieszanie składników, a później transport i rozładunek na budowie. W tym miejscu przeważnie następuje przekazanie wyrobu wykonawcy do dalszych zabiegów technologicznych. Tutaj też następuje przekazanie odpowiedzialności za dalsze kształtowanie właściwości. Rozpoczynają się zabiegi, które całkowicie mogą zniweczyć teoretyczne założenia projektanta i praktyczne działania producenta. Formowanie

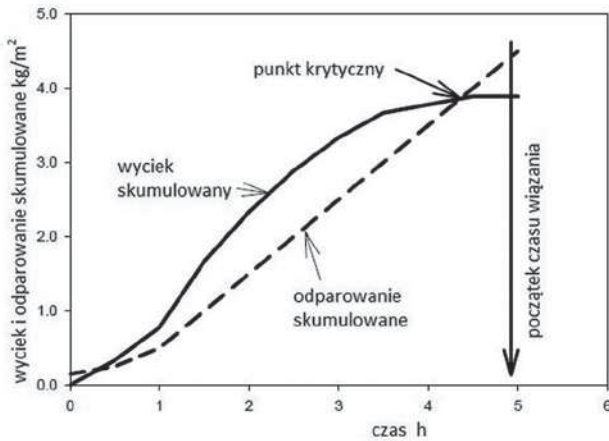
elementów konstrukcyjnych to prawidłowe rozłożenie i zagęszczenie mieszanki betonowej – bez przerw roboczych, bez zimnych złączy, bez nadmiaru porów, z zapewnieniem jednorodności. Ale w tym momencie beton dopiero zaczyna budować swoją strukturę poprzez procesy wiązania i twardnienia, od jakości przebiegu których zależy ostateczny sukces. To od niej zależy zarówno wytrzymałość mechaniczna, jak i odporność korozyjna zapewniająca trwałość konstrukcji. Ten ostatni okres związany jest z prawidłową pielęgnacją i ochroną dojrzewającego betonu. Jej głównym celem jest: minimalizacja skurczu plastycznego, zapewnienie odpowiedniej wytrzymałości powierzchniowej i zapewnienie odpowiedniej trwałości strefy przypowierzchniowej. Wymaga to doboru właściwej do warunków dojrzewania i do rodzaju konstrukcji metody pielęgnacji oraz czasu jej trwania. Dodatkowo młody beton należy chronić przed szkodliwymi warunkami atmosferycznymi, przed zamrażaniem, przed nadmiernym zróżnicowaniem temperatury w poszczególnych fragmentach dojrzewającego elementu (konstrukcji) oraz przed szkodliwymi drganiami, uderzeniami lub uszkodzeniami. Praktyka budowlana niestety potwierdza, że ten zakres zabiegów technologicznych jest wciąż najmniej doceniany i realizowany w rzeczywistych warunkach wykonawstwa. Prowadzi też niestety dość często do koniecznych napraw lub wzmocnień jeszcze przed oddaniem obiektu do użytkowania.

## 2. Potrzeba pielęgnacji wilgotnościowej

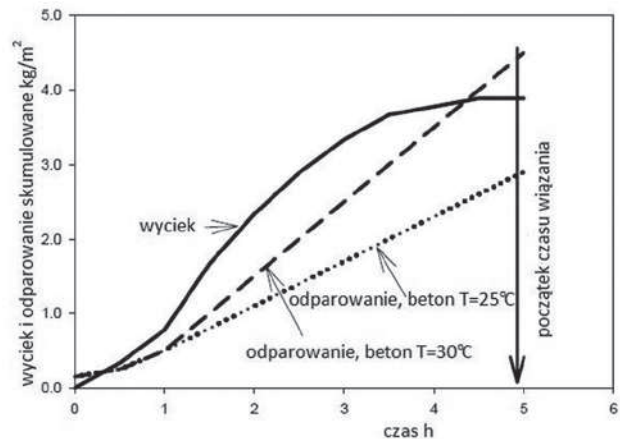
Definicja (potrzeba) właściwej pielęgnacji wilgotnościowej zasadza się w stwierdzeniu sformułowanym w normie PN-EN 13670 [5] w rozdz. 8.5: „Metody pielęgnacji powinny chronić przed zbyt szybkim odparowywaniem wody z powierzchni betonu lub utrzymywać tę powierzchnię stale wilgotną” – dlaczego to takie ważne? Otóż – przesuszenie młodego betonu zakłóca proces hydratacji cementu, a nawet może bezpowrotnie go przerwać. Zarówno wytrzymałość, jak i trwałość betonu silnie uzależnione są od stopnia hydratacji cementu ( $\alpha$ ). Znana zależność podana przez Powersa [6]:

$$V_p = 100 w/c - 36,15 \alpha \quad (1)$$

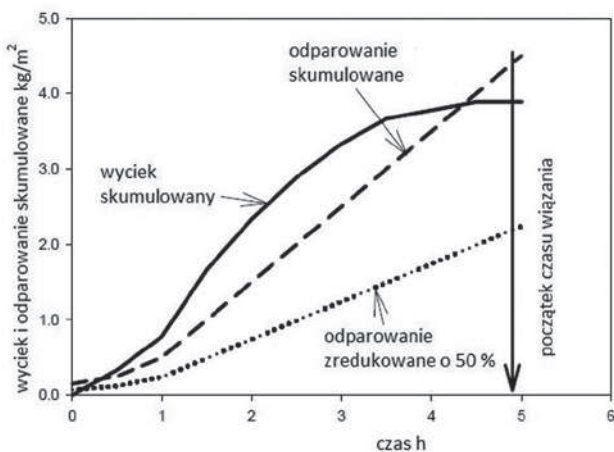
wyказuje, że większy stopień hydratacji cementu  $\alpha$  to mniejsza porowatość kapilarna  $V_p$ , a to ona właśnie wpływa na wytrzymałość i trwałość materiału. Dla zwiększania wytrzymałości i trwałości, porowatość kapilarna  $V_p$  powinna być minimalizowana. Osiąga się to przede wszystkim poprzez zmniejszenie ilości wody zarobowej w na etapie projektowania składu betonu. Teoretycznie, przy wskaźniku woda/cement  $w/c$  równym lub mniejszym 0,3615 możliwe jest uzyskanie betonu całkowicie pozbawionego porowatości kapilarnej, pod warunkiem



**Rys. 1.** Przyczyna powstawania rys skurczu plastycznego [7]



**Rys. 2.** Wpływ temperatury betonu na możliwość pojawienia się rys [7]



**Rys. 3.** Ograniczenie możliwości pojawienia się rys poprzez ograniczenie odparowania wody z powierzchni betonu [7]



**Rys. 4.** Pęknięcie betonu podłoża wskutek skurczu plastycznego



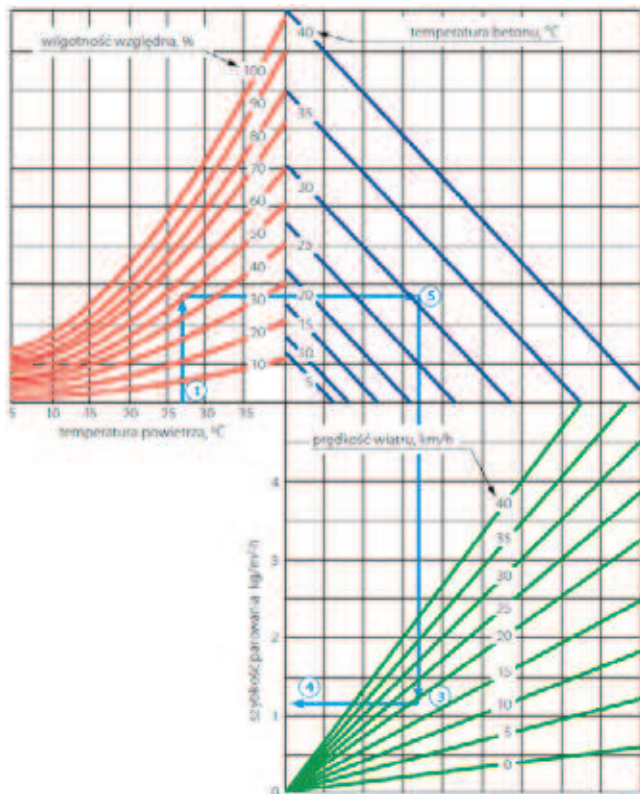
**Rys. 5.** Rysy nad zbrojeniem głównym płyty stropowej wskutek skurczu plastycznego betonu

całkowitej hydratacji cementu  $\alpha = 1$  – aby to osiągnąć, nigdy w betonie nie może zabraknąć wody dla reakcji składników spoiwa (cementu, popiołu lotnego, zmielonego granulowanego żużla wielkopieczowego), które jeszcze nie zdążyły przereagować. Z przedstawionej zależności wynika także, że łatwiej zaszkodzić przesuszeniem betonu wyższej klasy wytrzymałościowej niż niższej, bo znacznie mniejszy jest „zapas” wody zarobowej nie uczestniczącej w procesach wiązania i twardnienia betonu. Częściowe zakłócenie procesu dojrzewania prowadzi do obniżenia końcowej oczekiwanej wytrzymałości betonu, a struktura materiału staje się mniej odporna na agresywne oddziaływania środowiska. Pozostaje otwarta na migrację czynników korozyjnych (np.  $\text{CO}_2$ ,  $\text{Cl}^-$ ). Obniża się zatem trwałość wykonanej konstrukcji.

Ogromne znaczenie z punktu widzenia trwałości mają zarysowania, a nawet pęknięcia betonu. Otwierają one strukturę betonu na migrację czynników korozyjnych, sięgając często aż do zbrojenia konstrukcyjnego, narażając go bezpośrednio na korozję. Zarysowania, które powstają niedługo po wbudowaniu betonu w konstrukcję, są skutkiem skurczu betonu, będącego

jego naturalną właściwością. Rysy pojawiają się wtedy, gdy ilość odparowywanej wody zawartej w mieszance betonowej jest większa od samoistnego z niej wycieku (bleedingu) (rys. 1). Wpływ temperatury wbudowanego betonu na relację wyciek/odparowanie przedstawiony jest na rysunku 2, natomiast efekt możliwego zastosowania preparatów redukujących wielkość odparowania na rysunku 3. Skurcz może pojawić się już na etapie świeżo ułożonego betonu (przed rozpoczęciem procesów twardnienia) i wtedy określa się go jako skurcz plastyczny (rys. 4, 5, 7 i 8).

Na wielkość odparowania wpływ ma także temperatura powietrza i wiatr. Zależności te ujęto w łatwy do wyznaczenia tej ilości wody nomogram, przedstawiony w normie ACI 308R-01 [8] (rys. 6). Według zaleceń ACI wielkość odparowania większa od  $1,0 \text{ kg/m}^2\cdot\text{h}$  powinna zmuszać wykonawcę robót do natychmiastowego podjęcia pielęgnacji betonu, natomiast wytyczne kanadyjskie CCA zaostrzają ten wymóg do  $0,5 \text{ kg/m}^2\cdot\text{h}$ . Skurcz pojawia się także po rozpoczęciu procesów wiązania i jest zjawiskiem długotrwałym, jako skurcz wysychania i skurcz autogeniczny (rys. 9 i 10). Skurcz autogeniczny w zasadzie



**Rys. 6.** Nomogram do wyznaczania ilości odparowywanej wody z powierzchni betonu w odniesieniu do temperatury betonu oraz zewnętrznych warunków dojrzewania [8]

też jest skurczem wysychania, bo jest efektem osuszania wewnętrznej struktury betonu wskutek utraty wody konsumowanej przez hydratację cementu. Rysy i pęknięcia występują zawsze wtedy, gdy odkształcenia pozbawione swobody (wbudowane elementy zbrojenia, tarcie o deskowanie, tarcie o podłoże itp.) wywołają naprężenia przekraczające w danej chwili wytrzymałość betonu na rozciąganie. Można to opisać zależnościami:

$$\sigma_t = E \cdot \varepsilon_s \quad (2)$$

oraz

$$\sigma_t \geq f_s \quad (3)$$

gdzie:

- $\sigma_t$  – naprężenia rozciągające [N/mm<sup>2</sup>],
- $E$  – moduł odkształcenia betonu (różny w trakcie dojrzewania) [N/mm<sup>2</sup>],
- $\varepsilon_s$  – odkształcenie swobodne [‰],
- $f_s$  – wytrzymałość betonu na rozciąganie (zmienna w trakcie dojrzewania) [N/mm<sup>2</sup>].

Rolą pielęgnacji na tym etapie jest zatem konieczność stałego dostarczania wody, możliwie do całej struktury materiału konstrukcyjnego, aby w każdym jej miejscu „wyprzedzić” naprężenia wywołane skurczem, stale zwiększającą się wytrzymałością betonu. Jeśli powstaną rysy i pęknięcia, to obniżają one nośność elementów konstrukcyjnych lub powodują utratę



**Rys. 7.** Mikrozarysowania powierzchniowe posadzki przemysłowej utwardzanej powierzchniowo



**Rys. 8.** Rysy powierzchniowe betonu nad zbrojeniem głównym płyty głównej mostu wskutek skurczu plastycznego i osiadania mieszanki betonowej



**Rys. 9.** Efekt pęknięć płyty stropowej – pojawiające się przecieki wody wskroś przekroju płyty



**Rys. 10.** Pionowe pęknięcia ściany oporowej



**Rys. 11.** Wykres naprężeń termiczno-skurczowych w czasie dojrzewania betonu i zjawisko zarysowania elementu płytowego [9]

właściwości użytkowych konstrukcji (np. szczelność zbiorników). Otwierają też drogę do wnikania czynników korozyjnych pochodzących z otaczającego konstrukcję środowiska.

### 3. Potrzeba pielęgnacji termicznej

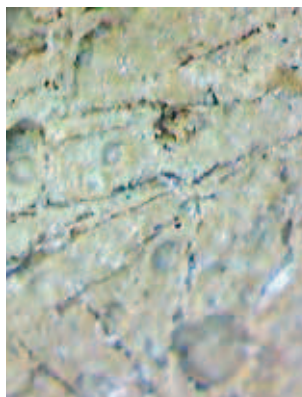
Podobny charakter uszkodzeń do tych wywołanych skurczem wykazują spękania, które mogą wystąpić wskutek odkształceń termicznych elementów konstrukcyjnych, a ściślej – wskutek



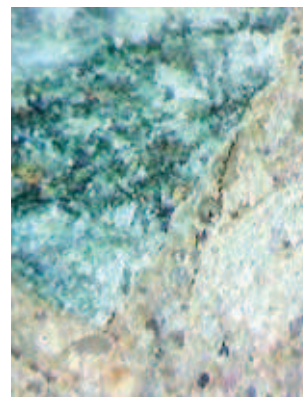
**Rys. 12.** Przemrożony beton ścian fundamentowych wielokondygnacyjnego budynku mieszkalnego



**Rys. 13.** Przemrożony strop płytowo-żebrowy międzykondygnacyjny apartamentowca



**Rys. 14.** Widoczne efekty przemrożenia betonu – powierzchnia próbki



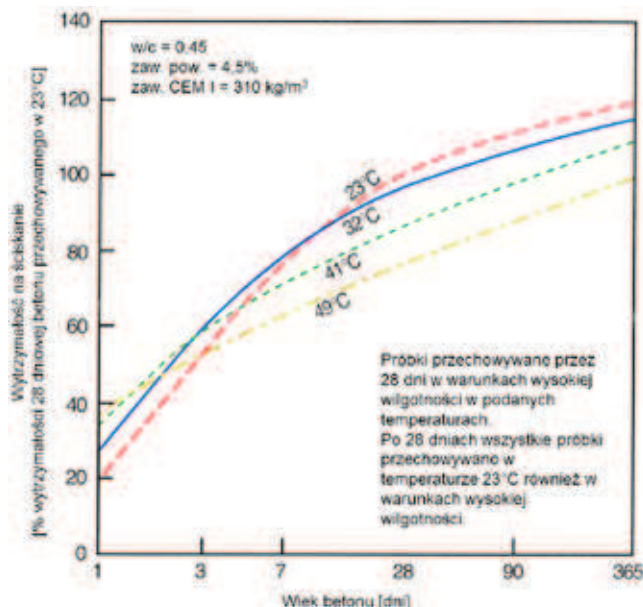
**Rys. 15.** Widoczne efekty przemrożenia betonu – wewnątrz próbki

różnic w odkształceniach termicznych poszczególnych fragmentów dojrzewającego elementu konstrukcyjnego i jego składników (zbrojenia, mieszanki betonowej). Zjawiska takie mają szczególne znaczenie w przypadku elementów masywnych. Wyzwalające się duże ilości ciepła w wyniku egzotermicznej reakcji hydratacji cementu (spoiwa) powodują znaczny wzrost temperatury wewnątrz elementu. Rozszerzający się beton od środka, natrafiając na opór zewnętrznych, chłodniejszych warstw, wywołuje w nich naprężenia rozciągające. W skrajnych przypadkach można doprowadzić do spękań obejmujących całą masę elementu (rys. 11). Zjawisko uszkodzenia opisują te same wzory (2 i 3), co wcześniej dla uszkodzeń skurczowych. Na podobne destrukcje elementy te są narażone także w trakcie schładzania, już po wyhamowaniu procesu samonagrzewania od ciepła hydratacji.

Zadaniem więc pielęgnacji termicznej jest takie sterowanie przepływami ciepła lub studzeniem powierzchniowym elementu, aby zrównoważyć rozkład temperatur wewnętrznych. Nie jest w tym przypadku aż tak istotne, jaka będzie temperatura maksymalna wewnątrz, ale jakie będą gradienty (różnice) pomiędzy poszczególnymi fragmentami konstrukcji, aż do jej wystudzenia.

Generalnie coraz rzadziej stosuje się chłodzenie wewnętrzne dojrzewającego elementu na rzecz właściwego doboru składników mieszanki w celu zminimalizowania całkowitego ciepła hydratacji i rozłożenia go w dłuższym czasie dojrzewania betonu. Dotychczasowe doświadczenia z użyciem specjalnych instalacji chłodzących rozwiązywały problemy dojrzewania elementu w skali makro, ale wykazywały też negatywne skutki dla struktury betonu w skali mikro, w bezpośredniej bliskości rur odbierających ciepło – bo gradienty temperatur pomiędzy betonem a czynnikiem chłodzącym też nie mogą być zbyt duże.

Oprócz wykazanych wcześniej negatywne mogą okazać się także inne oddziaływania termiczne. Wyziębienie, a zwłaszcza zamarzająca woda w świeżym betonie jest szczególnie niebezpieczna dla dopiero kształtującej się struktury kompozytu (rys. 12 i 13). Rozrywane są wtedy te najważniejsze, pierwsze więzy krystaliczne produktów hydratacji. Nawet jeśli uda się uniknąć takich uszkodzeń (ich skutkiem może być



**Rys. 16.** Wpływ podwyższonej temperatury dojrzewającego betonu na jego wytrzymałość końcową [10]

znaczną utratą wytrzymałości), zamarzająca woda tworzy własne kryształy, zawsze mające taki kształt, że po ich rozmrożeniu pozostaje we wnętrzu betonu mocno rozwinięta sieć kapilar (rys. 14 i 15). Otrzymuje się wtedy materiał konstrukcyjny całkowicie niezabezpieczony, nieodporny na oddziaływanie środowiska, więc nietrwały.

Szkodliwa może być także zbyt wysoka temperatura dojrzewającego betonu. Negatywne skutki mogą objawić się zasadniczo w dwóch postaciach. Pierwsza – to uszkodzona mikrostruktura betonu, czyli mikrozarzysowania wewnętrzne spowodowane przez zróżnicowaną rozszerzalność składników. Druga natomiast – to zmniejszenie stopnia hydratacji cementu (spoiwa) w późniejszym okresie dojrzewania w porównaniu z takim samym betonem dojrzewającym w warunkach normalnych. Dają one w zasadzie jeden wspólny negatywny efekt – zmniejszają wytrzymałość końcową betonu (rys. 16).

**Tabela 1.** Dobór klasy pielęgnacji wg PN-EN 13670 [5]

	Klasa pielęgnacji 1	Klasa pielęgnacji 2	Klasa pielęgnacji 3	Klasa pielęgnacji 4
Czas (h)	12	–	–	–
Procentowy przyrost projektowanej 28-dniowej wytrzymałości charakterystycznej	–	35%	50%	70%

**Tabela 2.** Minimalny czas pielęgnacji betonu dla klasy pielęgnacji 2 {3} [4] – odpowiadający przyrostowi przypowierzchniowej wytrzymałości betonu równemu 35% {50%} [70%] projektowanej 28-dniowej wytrzymałości charakterystycznej (wg PN-EN 13670 [5])

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

#### 4. Podsumowanie

Najlepszą drogą do wymuszenia właściwie prowadzonej pielęgnacji i ochrony betonu powinny być zapisy specyfikacji projektowej. W zależności od wymaganych warunków pracy konstrukcji (dobre klasy ekspozycji) oraz rangi elementu i przewidywanego harmonogramu jego obciążania projektant powinien wskazać konieczną klasę pielęgnacji, która wskazuje czas jej trwania do momentu uzyskania odpowiedniego poziomu wytrzymałości. Pomocne w tym zakresie są zapisy normy PN-EN 13670 [5], które przedstawiono w tabeli 1. Dla klas pielęgnacji 2, 3 i 4, gdzie wymaga się uzyskania odpowiednio 35, 50 lub 70% wytrzymałości charakterystycznej,

norma PN-EN 13670 [5] zaleca konieczne czasy pielęgnacji – zestawiono je w tabeli 2. Uzależnione są one od warunków temperaturowych dojrzewania betonu oraz od jego właściwości. Należy zwrócić uwagę, że do zaliczania czasu pielęgnacji uwzględnia się tylko okres, gdy temperatura dojrzewającego betonu (jego powierzchni) to co najmniej +5°C. Natomiast jeśli chodzi o wpływ właściwości betonu, to należy tutaj uwzględnić tempo przyrastania wytrzymałości, ustalane w ramach badań wstępnych dla danej receptury. Uzależnione ono jest przede wszystkim od rodzaju i ilości cementu w mieszance, ale także od rodzaju i ilości dodatków lub domieszek. Dla betonów wolnych (np. z cementem CEM III lub z dużą ilością dodatku popiołu lotnego) i niskich temperatur dojrzewania wymagany czas pielęgnacji to nawet ponad 30 dni.

Referat był wygłoszony na III Konferencji TECH-BUD'2017 nt. „Nowoczesne materiały, techniki i technologie we współczesnym budownictwie”.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] PN-EN 1992-1-1:2008 Eurokod 2. Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków
- [2] PN-B-06250 Beton zwykły
- [3] PN-EN 13877-2:2013-08 Nawierzchnie betonowe. Część 2: wymagania funkcjonalne dla nawierzchni betonowych
- [4] Ogólne Specyfikacje Techniczne OST Prace konstrukcyjne 06.01 Nawierzchnia z betonu cementowego, Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, 2014
- [5] PN-EN 13670 Wykonywanie konstrukcji betonowych
- [6] Collepari M., The new concrete. Published by Grafiche Tintorento, Włochy, 2006
- [7] Guide for Curing of Portland Cement Concrete Pavements, Volume I, Publication No FHWA-RD-02-099, 2005
- [8] ACI 308R-01 Guide to Curing Concrete
- [9] Flaga K., Klemczak B., Określenie wczesnych naprężeń termiczno-skurczowych i ryzyka zarysowania w masywnych płytach fundamentowych, Inżynieria i Budownictwo 7/2016
- [10] Giergiczny Z. i in., Vademecum Technologia Betonu, Wydawnictwo Cement Górażdże S.A., Chorula, 2016

# TARGI Nowy DOM Nowe MIESZKANIE

## 20-21 października

### AMBEREXPO



- WSTĘP WOLNY
- PORADY EKSPERTÓW
- KONKURS DLA ZWIEDZAJĄCYCH

