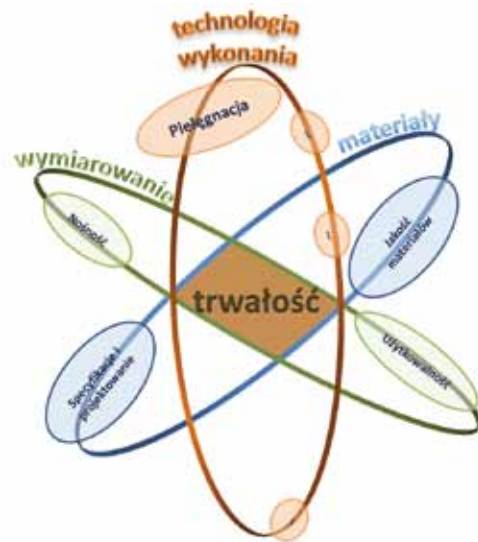


# Pielęgnacja – klucz do zapewnienia trwałości betonu w konstrukcji

## 1. Wstęp

Celem niniejszego artykułu jest zwrócenie szczególnej uwagi na **bardzo istotny etap wykonywania betonu, jakim jest pielęgnacja**, i wskazanie jej kluczowego wpływu na kształtowanie cech stwardniałego betonu (rys. 1). Pielęgnacja betonu jest niezbędnym etapem wykonywania każdej konstrukcji z betonu. Bez właściwej pielęgnacji nie może powstać „dobrej” jakości beton, o wymaganych, specyfikowanych właściwościach zapewniających uzyskanie odpowiedniej trwałości.



Rys. 1. Pielęgnacja jako jedno z kluczowych ogniw procesu powstawania trwałej konstrukcji z betonu

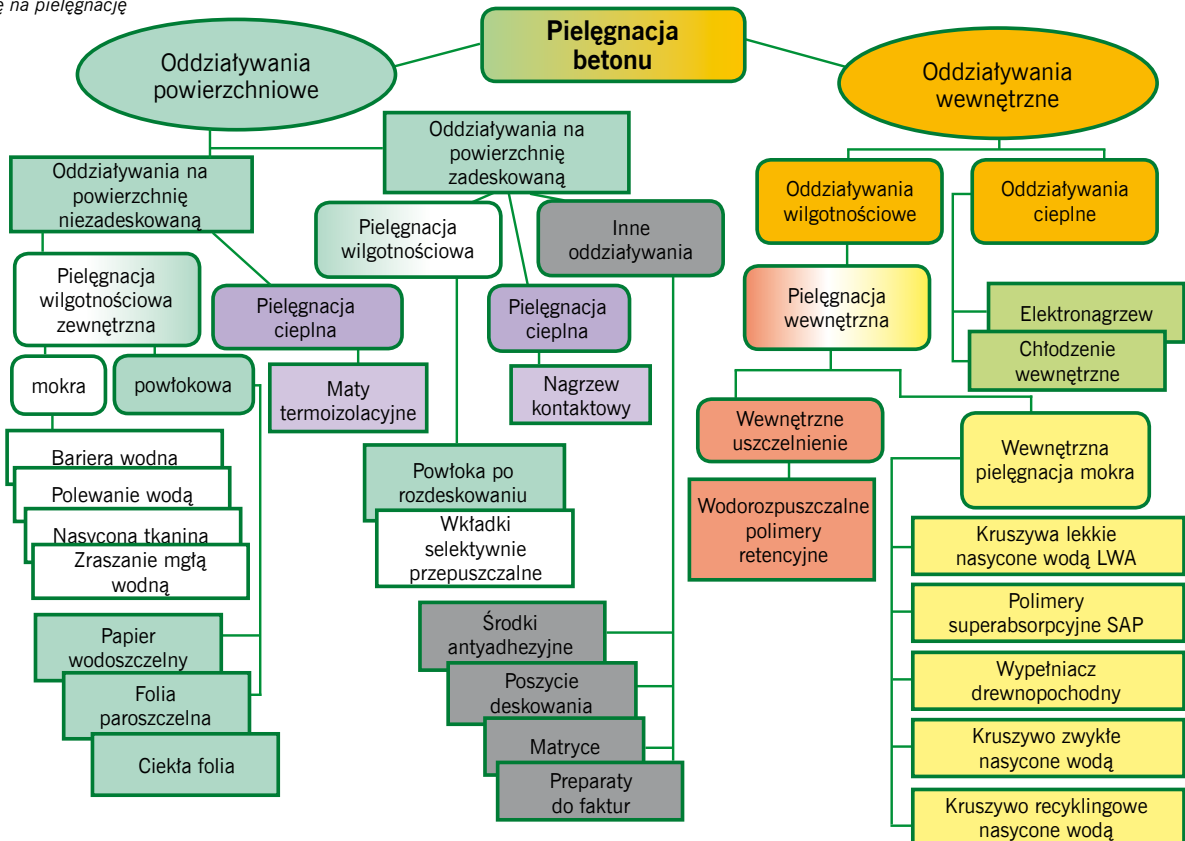
Trwałość betonu w konstrukcji uwarunkowana jest spełnieniem jakościowych i ilościowych warunków normowych wg PN-EN 206-1 [15] dotyczących doboru składu mieszanki betonowej w danej klasie ekspozycji, jak również zapewnieniem prawidłowego wykonawstwa robót betonowych, w tym przede wszystkim właściwej pielęgnacji.

Ogólnie przyjęte w technologii betonu definicje pielęgnacji betonu [1, 2] określają ją jako zabiegi podejmowane od chwili ułożenia i zagęszczenia mieszanki betonowej, mające na celu zapewnienie prawidłowego przebiegu procesów hydratacji cementu i w efekcie uzyskanie w określonym czasie betonu o wymaganych właściwościach. Zabiegi te obejmują utrzymanie odpowiedniej temperatury i wilgotności betonu oraz jego ochronę przed szkodliwymi oddziaływaniami, takimi jak np. czynniki atmosferyczne i mechaniczne. Istotne znaczenie z punktu widzenia pielęgnacji mają także inne działania, w tym tzw. pielęgnacja wewnętrzna, a także oddziaływania na beton w okresie formowania (np. środki antyadhezyjne do urządzeń formujących) oraz w okresie początkowego dojrzewania, np. wspomaganie dojrzewania betonu poprzez obróbkę cieplną lub domieszki chemiczne, schładzanie masywów betonowych (rys. 2).

## 2. Pielęgnacja a trwałość betonu

Prawidłowa pielęgnacja betonu wpływa korzystnie na jego trwałość. Beton niepielęgnowany lub pielęgnowany nieprawidłowo narażony jest na szereg

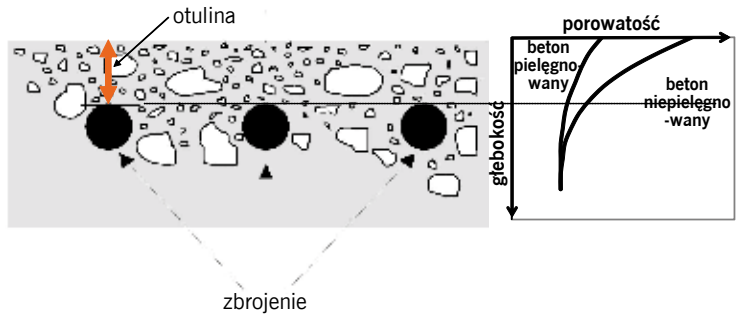
Rys. 2. Oddziaływania składowające się na pielęgnację betonu



zjawisk fizyko-chemicznych, których konsekwencją jest osłabienie warstwy powierzchniowej. Zjawiska te związane są z dwoma głównymi czynnikami: przepływem wilgoci i przepływem strumienia ciepła, przy czym skala zagrożeń wynikających z każdego z tych czynników związana jest z warunkami klimatycznymi. W warunkach wiosenno-letnich (temperatura otoczenia ponad  $+10^{\circ}\text{C}$ ) dominujące są zjawiska związane z deficytem wody, przy czym istotność zagadnienia rośnie wraz ze wzrostem temperatury otoczenia, w której prowadzone są roboty betoniarskie, i wzrostem siły wiatru. W warunkach zimowych zapewnienie właściwych warunków wilgotnościowych jest równie ważne, ale ponadto znaczenia nabiera pielęgnacja cieplna. W skrajnych przypadkach skutki złej pielęgnacji są dostrzegalne na pierwszy rzut oka, jednak często wygląd powierzchni nie budzi poważniejszych zastrzeżeń, skutki zaś są ukryte w strukturze betonu i ujawniają się w trakcie jego eksploatacji, powodując pogorszenie trwałości. Jednym z głównych efektów tego typu jest wzrost porowatości warstwy powierzchniowej betonu (tzn. otuliny zbrojenia), która pogarsza jej własności ochronne i szczelność (rys. 3).

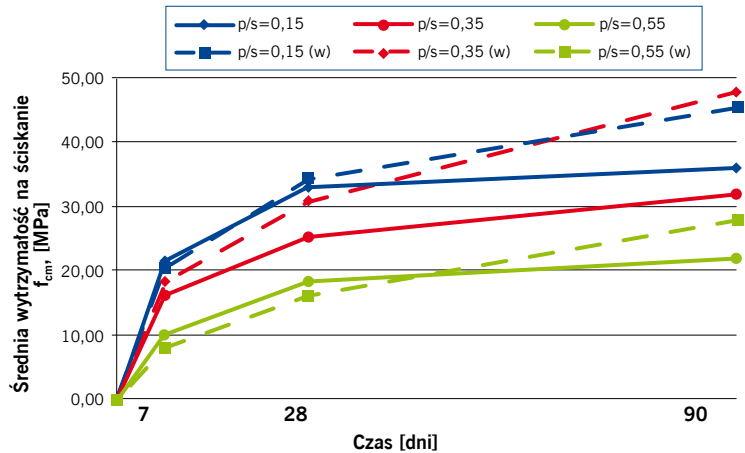
W rezultacie, pogorszeniu ulegają cechy mechaniczne warstwy przypowierzchniowej betonu w konstrukcji (rys. 4) a także cechy charakteryzujące trwałość, takie jak wodoszczelność, mrozoodporność, odporność chemiczna, w tym odporność na wnikanie chlorków i na karbonatyzację. Wpływ ten jest istotnie większy w przypadku betonów zawierających dodatki mineralne, stosowane jako zamiennik części cementu a także w przypadku niskich wartości wskaźnika w/c, co przykładowo zilustrowano w odniesieniu do odporności na karbonatyzację (rys. 5).

Przedstawione przykłady wskazują, że zarówno **właściwy dobór metody jak i czasu trwania pielęgnacji** jest kluczowy ze względu na zapewnienie wymaganej trwałości betonu. Rodzaje i techniki prowadzenia pielęgnacji są znane i opisane



w wielu opracowaniach literaturowych [3,12] oraz wytycznych i instrukcjach [4,5,6,7,8]. Mniej jednoznaczne są natomiast zasady wyboru metody i ustalania właściwego czasu trwania pielęgnacji.

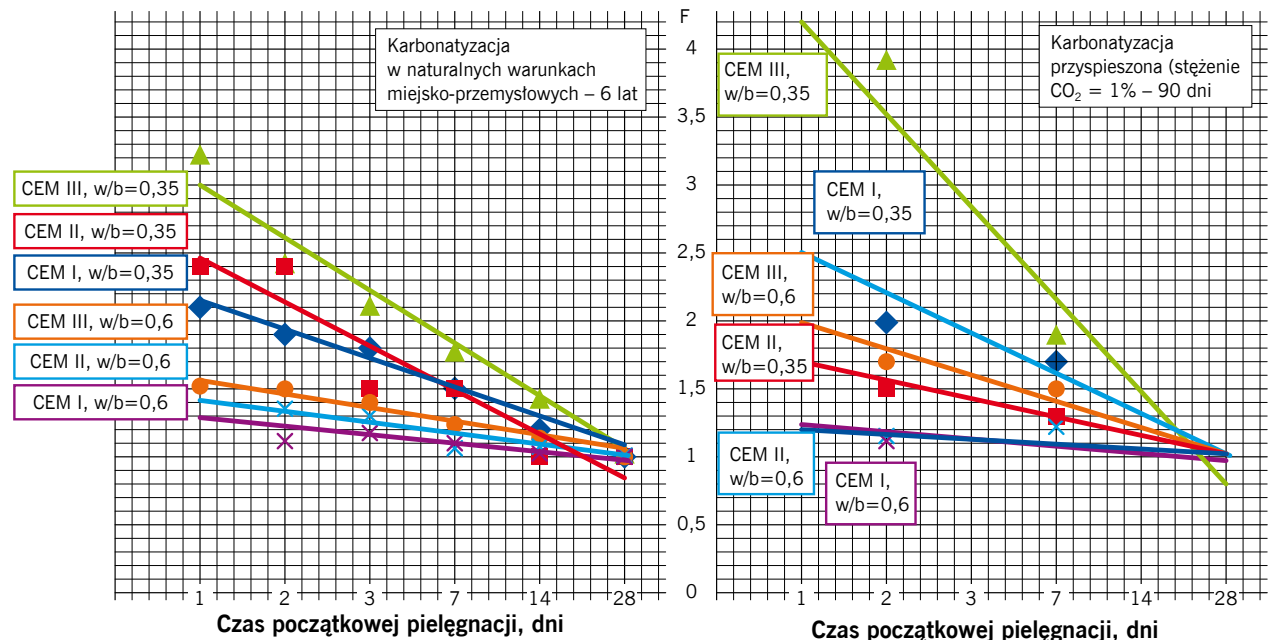
Rys. 3. Wpływ pielęgnacji na rozkład porowatości na grubości otuliny



Można zaryzykować stwierdzenie, że z punktu widzenia właściwych warunków wilgotnościowych, im pielęgnacja jest dłuższa, tym lepiej dla jakości betonu, niezależnie od przyjętej metody, a nawet jej przedłużenie ponad faktyczne potrzeby nie może przynieść skutków negatywnych. Bardziej złożony jest problem czasu trwania ochrony cieplnej w warunkach zimowych, w których zapobieganie zbyt szybkiemu wychładzaniu betonu

Rys. 4. Wpływ pielęgnacji w wodzie (ozn. „w” – linie przerywane) i w komorze klimatycznej (linie ciągłe) na wytrzymałość na ściskanie betonów o w/s = 0,48 z zawartością popiołów lotnych od 15 do 55% masy spoiwa [12]

Rys. 5. Wpływ skracania czasu pielęgnacji wodnej na pogłębienie zasięgu karbonatyzacji betonów z różnymi cementami i wskaźnikami woda/spoiwa (w/b);  $F = h_n/h_{28}$  – wskaźnik wpływu czasu pielęgnacji na głębokość karbonatyzacji, gdzie  $h_{28}$  – głębokość karbonatyzacji po 6 latach w przypadku 28-dniowej pielęgnacji wodnej betonu, zaś  $h_n$  – głębokość karbonatyzacji po 6 latach w przypadku n-dniowej pielęgnacji wodnej betonu



Tablica 1. Klasy pielęgnacji według [9]

| Klasa pielęgnacji | Cecha kryterialna  | Wartość kryterium |
|-------------------|--|-------------------|
| Klasa 1           | Czas trwania w godzinach, przy założeniu, że czas wiązania nie przekracza 5 h, a temperatura powierzchni betonu nie spada poniżej +5°C | 12 godzin         |
| Klasa 2           | Procent wymaganej wytrzymałości charakterystycznej na ściskanie po 28 dniach   | 35%               |
| Klasa 3           |  | 50%               |
| Klasa 4           |  | 70%               |

jest konieczne, ale jednocześnie zbyt intensywna ochrona cieplna może przynieść niekiedy również złe efekty, co jej brak.

Wprowadzona w ostatnim czasie do stosowania norma PN-EN 13670:2011 Wykonywanie konstrukcji z betonu zawiera tablice ustalające minimalny zalecany czas pielęgnacji, przy założeniu jej bezzwłocznego rozpoczęcia po zakończeniu zagęszczania, w zależności od:

- oczekiwanej wytrzymałości na ściskanie bezpośrednio po zakończeniu pielęgnacji
- temperatury powierzchni betonu
- szybkości rozwoju wytrzymałości na ściskanie

Jako kryterium główne przyjęto wytrzymałość po zakończeniu pielęgnacji, wyrażoną jako procent oczekiwanej wytrzymałości charakterystycznej (28-dniowej) betonu. Stało się to podstawą wprowadzenia 4 klas pielęgnacji (tablica 1), obejmujących przypadki, kiedy tuż po pielęgnacji wymagane jest osiągnięcie 35, 50 lub 70%  $f_{ck,cube}/f_{ck,cyl}$  (klasy 2 ÷ 4), bądź wymaganie co do wczesnej wytrzymałości nie jest formułowane (klasa 1).

Dla każdej z klas podano minimalne zalecane czasy trwania pielęgnacji w funkcji temperatury powierzchni betonu i szybkości rozwoju wytrzymałości. Zalecenia normy odnośnie czasu pielęgnacji nie biorą pod uwagę rodzaju działań pielęgnacyjnych (np.: ochrona wilgotnościowa czy cieplna?), zatem można przyjąć, że są one stosowalne w obu przypadkach. Interpretacja zaleceń normowych jest o tyle trudna, że nie zawierają one żadnych odniesień do temperatury powietrza w otoczeniu betonu a jedynie do temperatury powierzchni betonu. Ponadto nie jest określone, w jakim momencie należy zmierzyć temperaturę powierzchni betonu w celu ustalenia czasu trwania pielęgnacji. Zda-

Tablica 2. Kryteria wyboru klasy pielęgnacji betonu przykładowych konstrukcji

| Warunki obciążenia betonu w okresie dojrzewania (przed 28. dniem)  | Warunki ekspozycji betonu na czynniki agresywne w czasie eksploatacji             |   |
|--|---|---|
|  | X0, XC1   | XF, XA, XS, XD, XM, XC2-C4  |
| Obciążenie nie występuje; brak wymagań co do wczesnej wytrzymałości  | Klasa 1 lub 2   | Klasa 2   |
|  | Fundamenty i podbudowy zabezpieczone powierzchniowo lub w gruntach nieagresywnych | Konstrukcje masywne, np. hydrotechniczne, fundamenty w gruntach agresywnych |
| Występuje obciążenie niewielkie (do 30% w stosunku do użytkowego) lub w specyfikacji sformułowano podwyższone wymagania w zakresie wczesnej wytrzymałości  | Klasa 2   | Klasa 3   |
| Występuje znaczne obciążenie (>30% w stosunku do użytkowego); konieczne stosowanie dodatkowych podpór tymczasowych lub w specyfikacji sformułowano wysokie wymagania w zakresie wytrzymałości wczesnej | Klasa 4   | Klasa 4   |
|  |   | Płyty stropowe, balkonowe, belki, schody                                    |

niem autorów, powinien to być pomiar w chwili zakończenia zagęszczania, ale rozważany może być także pomiar w chwili rozpoczęcia pielęgnacji (lub pielęgnacji tymczasowej, jeśli jest stosowana). Według zapisów normowych: „po zagęszczeniu i wykończeniu powierzchni betonu, powierzchnia ta powinna być bezzwłocznie poddana pielęgnacji” [9], zatem w intencji autorów normy zakończenie zagęszczania i rozpoczęcie pielęgnacji jest to ten sam moment. Z praktyki wiadomo jednak, że okres pomiędzy zakończeniem zagęszczania a rozpoczęciem pielęgnacji zależy m.in. od przyjętej techniki działań ochronnych i w skrajnym przypadku wynosi nawet kilka godzin, co może istotnie zmienić wynik normowego wnioskowania o minimalnym czasie pielęgnacji. Warto ponadto zwrócić uwagę, że pominięcie w normowym ujęciu temperatury powietrza prowadzić może do niebezpiecznych decyzji o zbyt krótkiej pielęgnacji w okresie niskich temperatur, pomimo zapisu o przedłużeniu pielęgnacji o okres, w którym temperatura powierzchni betonu jest niższa niż +5°C.

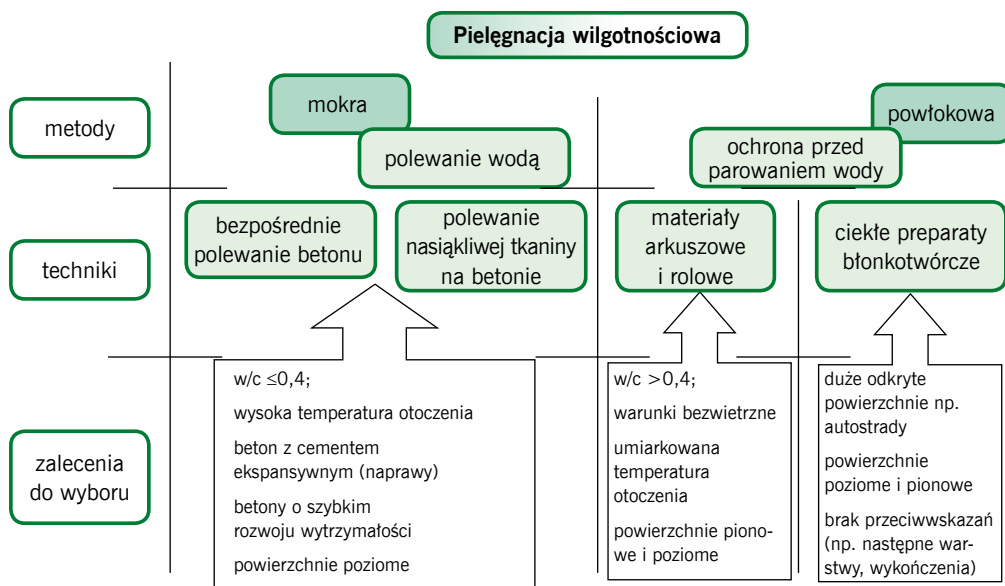
Norma nie podaje żadnych wskazówek ani przykładów, które mogłyby ułatwić decyzję o wyborze klasy pielęgnacji. Formułowanie wymagań co do wytrzymałości tuż po pielęgnacji nie jest jak dotąd powszechne w specyfikacjach technicznych betonu, zwłaszcza że nie można tego utożsamiać z wymaganą wytrzymałością rozformowania. Zdaniem autorów, konieczne jest opracowanie prostych zaleceń do wyboru klasy pielęgnacji. Jako podstawowe kryteria tego wyboru można przyjąć, oprócz normowego:

- procentu wymaganej wytrzymałości charakterystycznej uzyskiwanej po pielęgnacji, także dodatkowo;
- stan obciążenia elementu w okresie dojrzewania
- wymaganą klasę ekspozycji betonu w okresie eksploatacji.

Podobne podejście do kryteriów ustalania czasu pielęgnacji prezentowane jest w wytycznych ACI 306 *Cold weather concreting* (5), odnosi się jednak tylko do ochrony w okresie zimowym. Tak przyjęte kryteria wyboru klasy pielęgnacji pozwalają uwzględnić przy jej doborze zarówno doraźną funkcję pielęgnacji (wczesna wytrzymałość, ograniczenie skutków skurczu) jak i jej funkcję długoterminową (poprawa trwałości warstwy przypowierzchniowej).

Propozycję sposobu wyboru klasy pielęgnacji w zależności od przyjętych kryteriów wraz z przykładami konstrukcji, dla których podejście to mogłoby być zastosowane przedstawiono w tablicy 2. Jest to propozycja wstępna i ma charakter dość ogólny. Możliwość praktycznego stosowania takiego podejścia jest uwarunkowana opracowaniem zasad ustalania wymaganej wytrzymałości tuż po pielęgnacji oraz uszczegółowieniem kryteriów i pełniejszym opracowaniem uniwersalnych przykładów, ułatwiających dobór czasu pielęgnacji.

Zarówno ujęcie normowe wg PN EN 13670 [9], jak i przedstawiona w artykule propozycja nie uwzględniają zagadnienia doboru rodzaju pielęgnacji, w tym zwłaszcza metody (mokra lub powłokowa) i techniki (np. okresowe polewanie, bariera wodna, folia w płynie, folia w arkuszach itp.) pielęgnacji wilgotnościowej. Przykładowe zalecenia do



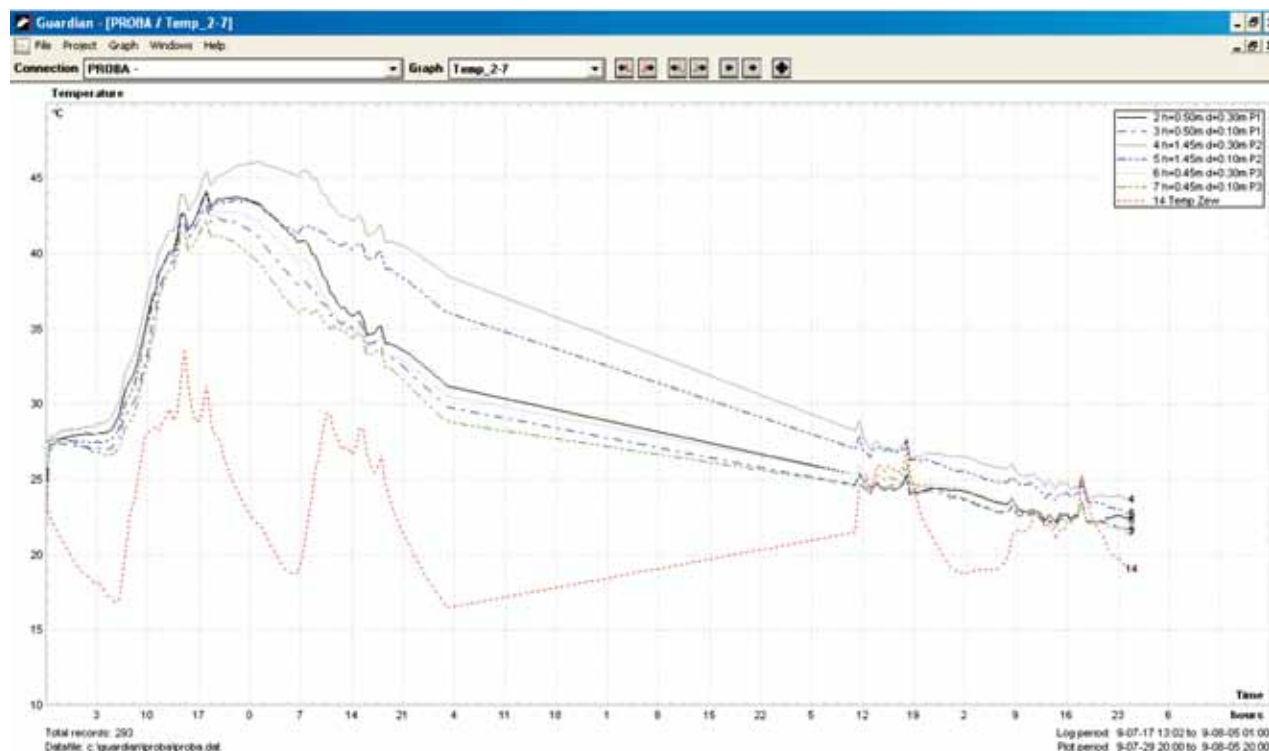
Rys. 6. Zalecenia do wyboru metody pielęgnacji wilgotnościowej w warunkach letnich

wyboru metody i techniki pielęgnacji wilgotnościowej w warunkach letnich przedstawiono na rys. 6. Coraz częściej wykorzystuje się dodatkowe narzędzia służące właściwemu dobru warunków rozdeskowania konstrukcji z betonu jak i odpowiedniej pielęgnacji. Jednym z nich jest kontrola przebiegu dojrzewania i twardnienia betonu w konstrukcji za pomocą czujników temperatury zatopionych w przekroju betonowanego elementu (rys. 7). Na podstawie zarejestrowanych temperatur betonu i temperatury zewnętrznej można prognozować warunki rozwoju wytrzymałości, jak również ocenić właściwy czas rozdeskowania konstrukcji, aby nie doprowadzić do „szoku termicznego”. Przeprowadzony monitoring przebiegu temperatury w dojrzewającym typowym elemencie konstrukcji może być wykorzystany do ustalenia zasad pielęgnacji betonu w technologicznie podobnych elementach obiektu.

### 3. Pielęgnacja próbek normowych a ocena trwałości betonu w konstrukcji

Znaczenie pielęgnacji dla trwałości betonu jest wyraźnie widoczne w odniesieniu do wyników badań próbek betonowych dojrzewających w różnych warunkach. Normowe zasady pielęgnacji próbek odniesione są przede wszystkim do badań wytrzymałości betonu (norma PN-EN 12390-2 [11]), przy czym, z zasady, oceny klasy wytrzymałości betonu dokonuje się na podstawie badania wytrzymałości na ściskanie próbek przechowywanych i pielęgnowanych w normowych warunkach laboratoryjnych [11]. W konstrukcji zaś beton dojrzewa w innych warunkach wilgotnościowych i cieplnych, i nawet przy najbardziej odpowiedniej pielęgnacji warunki te dla betonu są różne od laboratoryjnych. W konsekwencji, beton w konstrukcji charakteryzuje się słabszymi cechami fizyko mechanicznymi i związanymi z budową struktury materiału, w tym szczel-

Rys. 7. Przykładowe wyniki monitoringu przebiegu temperatur w dojrzewającym elemencie wykonanym z betonu klasy wytrzymałości C40/50



Rys. 8. Przykłady nieprawidłowego przechowywania próbek na budowie



#### Literatura

1. Z. Jamróży, *Beton i jego technologie*, PWN, Warszawa 2008
2. A.E. Neville, *Właściwości betonu*, Polski Cement, Kraków 2000
3. P. Woyciechowski, A. Chudan, *Metody i środki pielęgnacji betonu. Nowoczesne rozwiązania konstrukcyjno-materiałowo-technologiczne*, XXV Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, Szczyrk 2010
4. ACI 308R-01, *Guide to Curing Concrete*, 2001
5. ACI 306R-10, *Guide to Cold Weather Concrete*
6. ACI 305R-10, *Guide to Hot Weather Concrete*
7. *Wykonywanie robót budowlanych w okresie obniżonych temperatur*, ITB, nr 282/2011
8. *Standard Techniczny: Wykonywanie i pielęgnacja betonu w warunkach obniżonych temperatur*, IMBiTB, 2011
9. PN-EN 13670:2011 *Wykonywanie konstrukcji z betonu*
10. PN-EN 13791:2008 *Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach betonowych*
11. PN-EN 12390-2:2011 *Badania betonu. Część 2: Wykonywanie i pielęgnacja próbek do badań wytrzymałościowych*
12. W. Jackiewicz-Rek, *Wpływ warunków dojrzewania na rozwój wytrzymałości na ściskanie betonów wysokopopiołowych*, „Autostrady” 3/2012, str. 56-59
13. L. Czarnecki, P. Woyciechowski, *Concrete carbonation as a limited process and its relevance to concrete cover thickness*, ACI Materials Journal May/June /2012, p. 275-282
14. G. Bajorek, *Błędy przy w budowywaniu betonu*, Konferencja Dni Betonu 2010, Polski Cement, str. 919-932
15. PN-EN 206-1:2003 *Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność*

nością, w porównaniu z takim samym betonem, ale w postaci próbek dojrzewających w warunkach normowych. Tak więc w prawidłowo wykonanej próbce betonowej nie tylko cechy wytrzymałościowe ale i parametry trwałości mogą być znacząco lepsze niż w konstrukcji. Według [10] wynika to z szeregu czynników, z których obok pielęgnacji należy wymienić stopień zagęszczenia oraz wpływ lokalizacji obszaru, w którym określa się wytrzymałość (wraz z wysokością przekroju betonowego wytrzymałość maleje w kierunku góry przekroju i może być mniejsza do 25% na górze niż na dole przekroju elementu – nawet płyty [10]). Według tej samej normy stosunek charakterystycznej wytrzymałości na ściskanie betonu w konstrukcji do charakterystycznej wytrzymałości znormalizowanych próbek do badań ( $f_{ck, is, cube} / f_{ck, cube}$ ) wynosi 0,85 (gdzie 0,85 jest częścią współczynnika bezpieczeństwa  $\gamma_c$  według EN 1992-1-1:2004). Z pewnością ma to również przełożenie na relację własności opisujących trwałość betonu w próbkach normowych i w konstrukcji.

Próbki do badań wytrzymałości powinny być wykonywane zgodnie z normą [11]. Zasady podane w tej normie są wykorzystywane w odniesieniu do próbek betonowych formowanych w celu badania wielu innych cech, takich jak wodoszczelność, mrozoodporność i inne miary trwałości. Norma ta przewiduje odpowiednie formowanie, zgęszczanie mieszanki, pielęgnację i transport próbek do badań. Próbki po zaformowaniu powinny pozostawać w formach przez minimum 16 godzin (jednak nie dłużej niż 3 dni) w temperaturze  $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ , zabezpieczone przed wstrząsami, drganiami i utratą wilgoci. W tym czasie nie mogą być transportowane. Po wyjęciu z formy próbki należy, aż do momentu badania, pielęgnować w wodzie o temperaturze  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  lub w komorze klimatycznej o temp.  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  i wilgotności względnej  $\geq 95\%$ . Transport próbek jest możliwy przy zachowaniu wymaganej temperatury i zabezpieczeniu przed utratą wilgoci poprzez odpowiednie przykrywanie mokrymi tkaninami lub przewożenie próbek w szczelnych workach lub pojemnikach z wodą.

Takich warunków z pewnością nie da się zapewnić betonowi w konstrukcji, ale oczywiście jest, że im gorzej będzie pielęgnowany beton konstrukcji, tym rozbieżność pomiędzy właściwościami betonu w próbkach normowych i w konstrukcji będzie większa.

Warto jednocześnie zwrócić uwagę, że w kwestii przechowywania i pielęgnacji, jak i transportu pró-

bek do badań zdarza się w wykonawstwie wiele nieprawidłowości. Na budowie nie przykładana się należytej wagi do zaleceń wymaganych temperatur i wilgotności. Często próbki są przechowywane w przypadkowych, ogólnie dostępnych miejscach, narażone na silne nasłonecznienie, wysychanie lub przemarzanie (rys. 8). Następnie na podstawie badań tak przechowywanych i pielęgnowanych próbek oceniana jest zgodność z wymaganą klasą wytrzymałości czy innymi cechami betonu. Zdarza się również, że próbki są transportowane z miejsca betonowania zaraz po ich zaformowaniu lub po zaledwie kilku godzinach, co negatywnie wpływa na wyniki uzyskanych badań. Wszystkie te uchybienia prowadzą do błędnej oceny właściwości wbudowanego betonu, określanych na znormalizowanych próbkach, i prowadzi niejednokrotnie do sytuacji spornych.

#### 4. Podsumowanie

Pielęgnacja jest istotnym elementem wykonywania betonu, zarówno w próbkach laboratoryjnych jak i w konstrukcji. Właściwy dobór metody pielęgnacji (techniki i czasu) podyktowany powinien być uwarunkowaniami wynikającymi z rozwiązań materiałowych i ograniczeń technologicznych dotyczących rozpatrywanego obiektu z betonu.

Specyfikacja betonu i projekt technologiczny wykonania elementu z betonu powinny zawierać zalecenia dotyczące przebiegu pielęgnacji. Klasy pielęgnacji podane w normie [9] mogą stanowić punkt wyjścia do sformułowania tych zaleceń, ale samo podanie klasy pielęgnacji według [9], bez uszczegółowienia wymagań w odniesieniu do konkretnej realizacji i sprecyzowania techniki pielęgnacji, jest niewystarczające.

Wybór właściwej klasy pielęgnacji jest zadaniem niełatwym, ze względu na trudność oszacowania przez specyfikującego oczekiwań co do cech fizyko mechanicznych bezpośrednio po zakończeniu pielęgnacji.

Zakres zagadnień podjęty w tym opracowaniu stanowi przyczynek do podjęcia działań zmierzających do opracowania kompleksowych wytycznych projektowania i prowadzenia pielęgnacji betonu.

**dr inż. Wioletta Jackiewicz-Rek**  
**dr inż. Piotr Woyciechowski**  
**Zakład Inżynierii Materiałów Budowlanych**  
**Politechnika Warszawska**

Artykuł przygotowano w ramach realizacji Pracy Statutowej nr 504P 1088 1207.