



Źródło: Michał Braszczowski

Beton należy chronić

1. Wprowadzenie

Nie ma złych betonów, są tylko źle wykonane – to stwierdzenie nabiera cech realnych szczególnie w przypadku zaniechania lub źle prowadzonej pielęgnacji betonu. Nawet beton zaprojektowany zgodnie ze sztuką oraz wszelkimi wytycznymi projektowymi, wykonany ze specjalnie wyselekcjonowanych składników, bardzo dobrze wymieszany, zagęszczony i ułożony, nie będzie posiadał zakładanych właściwości, jeżeli pominiemy znaczenie pielęgnacji. Błędy popełnione na etapie dojrzewania betonu często niosą skutki, których usunięcie może okazać się bardzo trudne albo wręcz niemożliwe.

Aby otrzymać beton wysokiej jakości, należy pamiętać o prostej, lecz bardzo znaczącej regule: **świeży beton należy chronić w okresie jego dojrzewania**. Istotą pielęgnacji betonu jest utrzymanie go w stanie nasyconym, dopóki przestrzenie wypełnione pierwotnie wodą w świeżym zaczynie ce-

mentowym nie zostaną zapełnione do pożądanego stopnia przez produkty hydratacji cementu. Ta ochrona polega głównie na:

- przykryciu powierzchni betonu w celu niedopuszczenia do odparowania wody
- nawilżaniu powierzchni betonu poprzez polewanie wodą
- ochronie przed przemarzeniem przy ujemnych temperaturach
- ochronie przed uderzeniami i drganiami w czasie dojrzewania.

Pomimo zasadniczego znaczenia okres pielęgnacji jest niedoceniany zarówno przez wykonawców, jak i projektantów. Nie poprawia tego stanu fakt, że jak do tej pory nie dopracowano się jednolitych standardów postępowania z betonem w jego okresie dojrzewania. Lukę tę ma zapełnić projekt normy europejskiej *ENV 13670-1 Wykonanie konstrukcji betonowej – Część 1: Uwagi ogólne*, której spora część poświęcona jest pielęgnacji i zabezpieczeniu konstrukcji w okresie dojrzewania.

Projekt ten jasno precyzuje, że beton we wczesnym okresie należy pielęgnować i chronić, a pielęgnacja naturalna jest z reguły niewystarczająca, za wyjątkiem dni szczególnie wilgotnych, deszczowych lub mglistych, kiedy szybkość parowania z powierzchni betonu jest bardzo niska.

Tabela 1. Minimalne okresy pielęgnacji wg ENV 13670-1

Temperatura powierzchni betonu [t]; °C	Minimalny okres pielęgnacji w dniach ^{1), 2)}			
	Rozwój wytrzymałości betonu ⁴⁾ ($f_{cm2}/f_{cm28} = r$)			
	$r \geq 0,50$	$0,50 > r \geq 0,30$	$0,30 > r \geq 0,15$	$r < 0,15$
$t \geq 25$	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) Dodatkowo każdy okres wiązania powyżej 5h
- 2) Dopuszcza się interpolacje liniową pomiędzy wartościami w wierszach
- 3) Dla temperatury poniżej 5 °C okres pielęgnacji należy zwiększyć o czas kiedy temperatura jest poniżej 5 °C
- 4) Dynamika narastania wytrzymałości jest mierzona stosunkiem średniej wytrzymałości na ściskanie po 2 dniach do średniej wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach, uzyskanych na podstawie badań wstępnych lub opartych na wartościach charakterystycznych wyznaczonych na betonach o porównywalnych składach (EN 206-1:2000)

Tabela 2. Rozwój wytrzymałości betonu w 20°C

Rozwój wytrzymałości	Ocena współczynnika wytrzymałości f_{cm2}/f_{cm28}
Szybki	$\geq 0,5$
Umiarkowany	$\geq 0,3 < 0,5$
Wolny	$\geq 0,15 < 0,3$
Bardzo wolny	$< 0,15$

Negatywne skutki braku pielęgnacji mogą mieć zasadnicze znaczenie dla trwałości konstrukcji, a uwidaczniają się głównie w postaci:

- łuszczenia powierzchniowego
- zwiększonego skurczu prowadzącego do powstawania rys i spękań
- obniżonej wytrzymałości końcowej
- braku mrozoodporności
- spadku szczelności, co ma bezpośredni wpływ na obniżenie odporności na czynniki agresywne.

Właściwa pielęgnacja powinna utrzymywać powierzchnię betonu cały czas w stanie wilgotnym, uwzględniając wpływ wiatru, temperatury i wilgotności powietrza. Już spadek wilgotności w betonie poniżej 80% spowoduje nieodwracalne zahamowanie hydratacji cementu.

Czas trwania pielęgnacji jest uwarunkowany rozwojem własności betonu w strefie przypowierzchniowej. Projekt normy ENV 13670-1 proponuje oceniać rozwój właściwości betonu w tej strefie w dwojaki sposób:

- na podstawie wskaźnika rozwoju wytrzymałości, czyli stosunku wytrzymałości 2-dniowej do 28-dniowej

lub

- w zależności od wydzielania się ciepła hydratacji w funkcji ciepła całkowitego wydzielanego w warunkach adyabatycznych.

Proces pielęgnacji powinien być rozpoczęty bezpośrednio po zakończeniu etapu układania, zagęszczania i ewentualnie wykończeniu powierzchni. Czas trwania pielęgnacji powinien być dostosowany do kształtu, objętości elementu, typu konstrukcji a w szczególności rodzaju zastosowanego cementu (tabela 1 – propozycja ENV 13670-1).

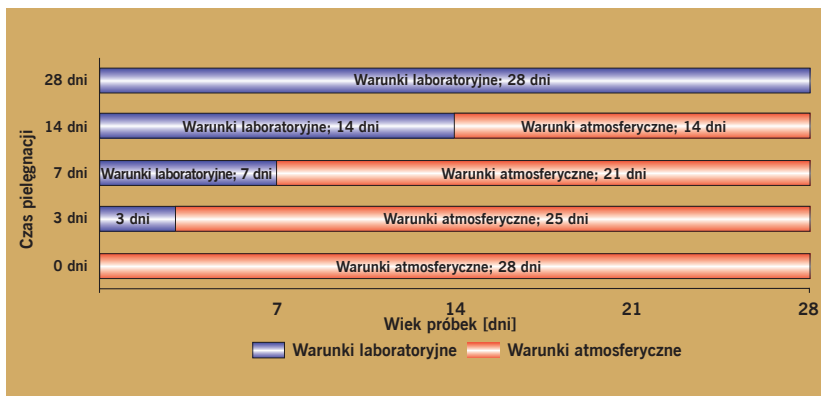
Wpływ cementu ściśle zależy od jego dynamiki narastania wytrzymałości (tabela 2).

Dlatego betony, w których zastosowano cementy z dodatkami charakteryzujące się z reguły umiarkowanym a nawet wolnym przyrostem wytrzyma-

Rodzaj Cementu	Klasa betonu	Cement	Woda	Piasek 0-2	Kr. I 2-8	Kr. II 8-16
CEM III/A 32,5 N	C25/30	345	190	695	268	820
CEM II/B-S 32,5 R	C25/30	345	190	695	268	820
CEM I 32,5 R	C25/30	345	190	695	268	820
CEM I 42,5 R	C25/30	311	190	713	274	840

łości, wymagają znacznie dłuższego okresu pielęgnacji zarówno w lecie jak i w okresie obniżonych temperatur.

Tabela 3. Skład 1 m³ mieszanki betonowej



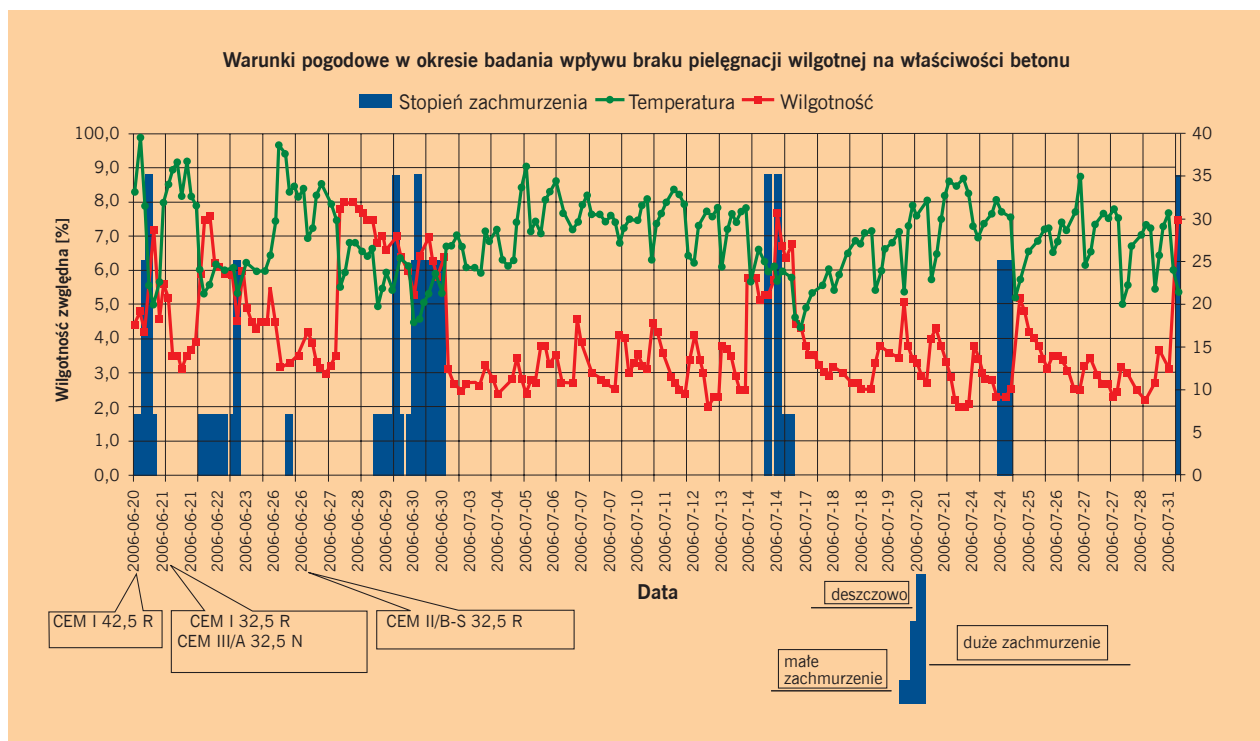
Rys. 1 Program pielęgnacji próbek betonu

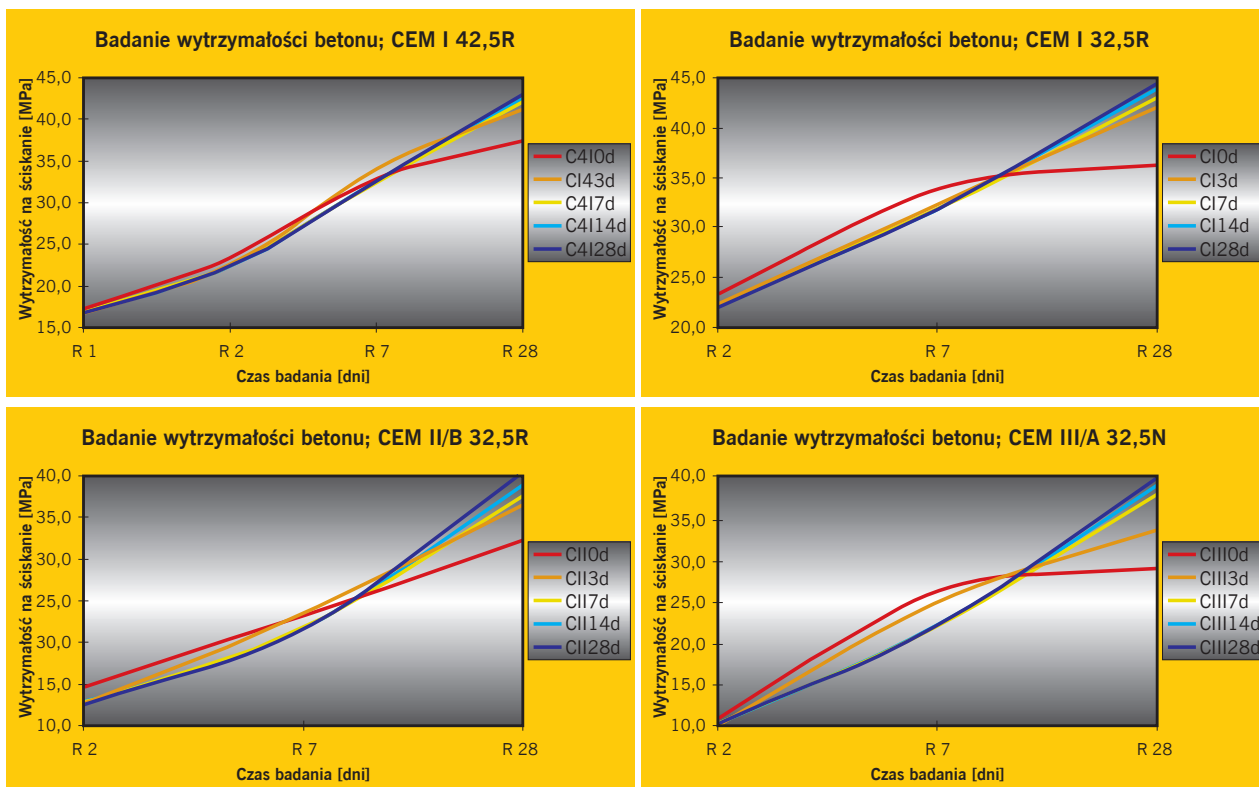
2. Badania określające wpływ czasu pielęgnacji na parametry użytkowe betonu

W Centrum Technologicznym Betonu CEMEX Polska przeprowadzono badania cech betonu w zależności od czasu jego pielęgnacji. W wykonanym projekcie sprawdzono wpływ czasu pielęgnacji na takie cechy betonu, jak: wytrzymałość na ściskanie, nasiąkliwość i wodoszczelność.

Oznaczenie wytrzymałości na ściskanie betonów dojrzewających w warunkach laboratoryjnych oraz w środowisku naturalnym wykonano po 2, 7 i 28 dniach na 3 próbkach dla każdego terminu. Bada-

Rys. 2 Warunki pogodowe w okresie testu





Rys. 3 Wyniki wytrzymałości na ściskanie

nie nasiąkliwości oraz wodoszczelności wykonano po upływie 28 dni dojrzewania.

Badania przeprowadzono dla cementów z grupy CEM I, CEM II oraz CEM III.

Optymalizację składu mieszanek betonowych przeprowadzono metodą doświadczalno-obliczeniową. Mieszanki wykonano przy użyciu kruszyw naturalnych. Skład zaprojektowanych mieszanek betonowych przedstawiono w tabeli 3.

Dla każdej partii z danym cementem wykonano serie, które dojrzewały w warunkach laboratoryjnych: 0 dni; 3 dni; 7 dni; 14 dni i 28 dni – jako świadki. Następnie próbki w zależności od upływu przypisanego im terminu były umieszczone na zewnątrz i dojrzewały w warunkach atmosferycznych według harmonogramu prezentowanego na rysunku 1. Próbki świadki dojrzewały w komorze klimatycznej o temperaturze $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ i wilgotności względnej powietrza $\geq 97\%$.

Próbki umieszczone w warunkach atmosferycznych znajdowały się w miejscu niezadaszonym były narażone bezpośrednio na działanie słońca, deszczu

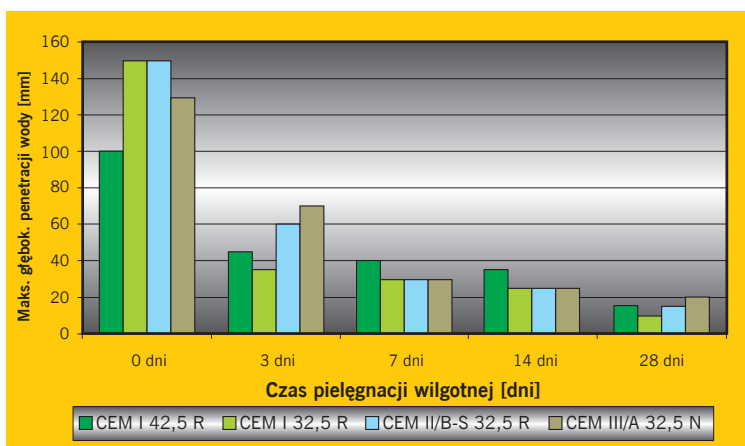
oraz temperatury, bez jakiegokolwiek pielęgnacji. W okresie prowadzenia testu temperatura wahała się od 20°C do 35°C , natomiast wilgotność powietrza od 20% do 80%. Szczegółowe warunki atmosferyczne w czasie dojrzewania betonu przedstawiono na rysunku 2.

3. Podsumowanie

Wyniki przeprowadzonych badań potwierdziły jednoznacznie wpływ czasu pielęgnacji na parametry trwałościowe betonu:

- Wzrost temperatury przyspiesza hydratację cementu, dlatego cała mikrostruktura uwodnionego zaczynu cementowego powstaje bardzo wcześnie. Czynnikiem skutkuje wzrost wytrzymałości młodego betonu, jednakże wraz z obniżeniem wilgotności wpływa ujemnie na wytrzymałość betonu w wieku powyżej 7 dni. Szybsza hydratacja cementu prowadzi do powstania mniej zwartej mikrostruktury betonu (prawdopodobnie bardziej porowatej) w porównaniu ze strukturą powstałą w wyniku wolniejszej hydratacji, której produkty w znacznie większym stopniu wypełnią przestrzeń porów. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono wzrost wytrzymałości około 1-3 MPa (rys. 3) w pierwszej fazie dojrzewania betonu dla próbek przechowywanych na powietrzu w porównaniu do świadków w warunkach laboratoryjnych
- Następnym czynnikiem mającym bezpośredni wpływ na wytrzymałość oraz szczelność betonu jest szybkie odparowanie wilgoci. Jeżeli szybkość odparowania wody będzie zbyt duża, to powstałe po niej puste przestrzenie nie będą wypełnione w pożądanym stopniu produktami hydratacji cementu. Z przeprowadzonych badań wynika, że strata wytrzymałości na ściskanie pomiędzy próbkami świadkami a próbkami, któ-

Rys. 4 Wodoszczelność betonów w zależności od czasu pielęgnacji

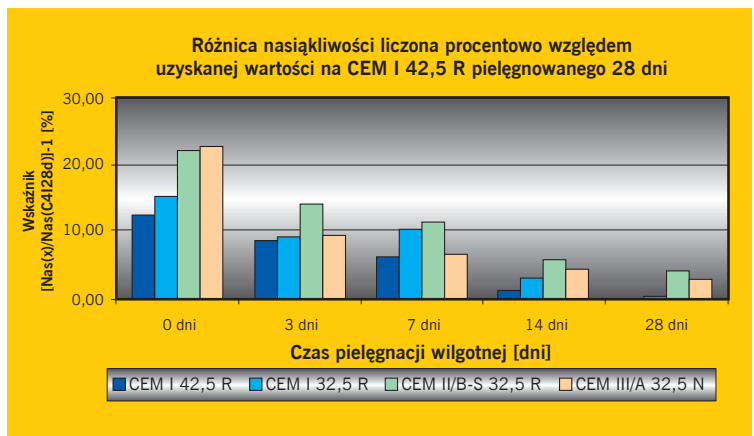


re przebywały cały czas na powietrzu dla cementów portlandzkich czystych wynosi około 7 MPa, natomiast dla cementów z dodatkami hutniczymi do ponad 10 MPa (rys. 3).

- Warunki pielęgnacyjne są jednym z głównych czynników wpływających na wodoszczelność betonu. Próbkę betonu, które nie były pielęgnowane w wyniku badania były nasiąknięte wodą na głębokość powyżej 100 mm, a nawet w niektórych przypadkach uległy przesiąknięciu. Natomiast próbki świadki uległy nieznacznej penetracji wodą (około 20 mm). Głębokość penetracji wodą była ściśle uwarunkowana czasem pielęgnacji próbek oraz warunkami, w jakich dojrzewały próbki (rys. 4).
- Parametr betonu, jakim jest nasiąkliwość, jest niezwykle wrażliwy na warunki, w jakich dojrzewa beton, dlatego krótki czas prowadzenia pielęgnacji lub jej całkowity brak ma bezpośredni wpływ na jego wartość. W zależności od okresu pielęgnacji i rodzaju użytego cementu jego wartość różniła się od 1% do 0,5% (rys. 5).

Przy porównaniu wyników niniejszego projektu z warunkami aplikacyjnym należy zwrócić uwagę na rodzaj konstrukcji, dla której szacujemy wpływ warunków pielęgnacyjnych. O ile w przypadku fundamentów straty wynikłe z braku właściwej pielęgnacji będą mniejsze, to zjawiska te zdecydowanie będą miały większe znaczenie dla obiektów typu płyta, nawierzchnia w porównaniu do prezentowanego modelu.

Zaprezentowane wyniki badań stanowią jedynie wycinkowe i z konieczności uproszczone dowody świadczące o skali wpływu pielęgnacji na właściwości użytkowe betonu. Jednak ich wymiar prak-



tyczny pokazuje, jak potrzebne jest wprowadzenie ustandaryzowanych zaleceń w zakresie pielęgnacji dla konkretnych warunków dojrzewania betonu. Dodatkowo, by uzupełnić obraz zagrożeń wynikający ze złej pielęgnacji lub jej braku, należałoby poszerzyć badania dla warunków dojrzewania betonu w niskich temperaturach oraz poruszyć zagadnienie związane z ochroną betonów w konstrukcjach masowych.

mgr inż. Stanisław Wąj
Cemex Polska

Literatura:

- 1 PN-EN 206-1: 2003 Beton, Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
- 2 ENV 13670-1:2000 Wykonanie konstrukcji betonowych. Część 1: Uwagi ogólne
- 3 A. M. Neville, Właściwości betonu, Polski Cement, Kraków 2000

Rys. 5 Nasiąkliwość betonów w zależności od czasu pielęgnacji liczona procentowo wg wskaźnika $[Nas(x)/Nas(C4128d)]-1$ [%]; $Nas(C4128d)$ – nasiąkliwość procentowa serii betonu z CEM I 42,5R pielęgnowanego 28 dni (świadek). $Nas(x)$ – nasiąkliwość procentowa poszczególnych serii

Zabezpieczenie obiektu podczas betonowania – droga krajowa nr 18, grudzień 2005

