
PRACE

**Instytutu Ceramiki
i Materiałów Budowlanych**

Scientific Works
of Institute of Ceramics
and Building Materials

Nr 14
(lipiec–wrzesień)

Prace są indeksowane w BazTech i Index Copernicus

ISSN 1899-3230

Rok VI

Warszawa–Opole 2013

Teksty publikowane w „Pracach Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych” poddawane są procedurze recenzyjnej

dr Dorota Anders
dr inż. Tomasz Ciesielczuk
dr hab. inż. Jan Deja
dr hab. inż. Bolesław Dobrowolski
dr hab. inż. Jerzy Duda
dr hab. inż. Marek Gawlicki
dr hab. inż. Zbigniew Giergiczny
dr hab. inż. Michał A. Glinicki
prof. dr hab. Stefania Grzeszczyk
dr Elżbieta Janowska-Renkas
prof. dr hab. inż. Zdzisław Kabza
dr inż. Wojciech Kalinowski
dr inż. Alicja Kolasa-Więcek
dr inż. Anna Król
dr inż. Tomasz Ligus
prof. dr hab. inż. Andrzej Olszyna
dr inż. Alicja Pawełek
dr inż. Jacek Podwórny
prof. dr hab. inż. Janusz Pospolita
dr inż. Krystyna Rajczyk
prof. dr hab. inż. Wiesław Rybak
dr inż. Grzegorz Siemiątkowski
dr inż. Franciszek Ślądyczek
prof. dr hab. inż. Małgorzata Sopicka-Lizer
dr hab. inż. Jacek Szczerba
dr hab. inż. Adam Witek
dr inż. Małgorzata Wzorek
dr inż. prof. AGH Janusz Zborowski

Na okładce zdjęcie z artykułu Małgorzaty Niziurskiej

„Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych” ukazują się w wersji papierowej i elektronicznej (<http://icimb.pl/opole/wydawnictwa>).

Wersją pierwotną jest wersja papierowa

Opracowanie redakcyjne: Maria Szwed, Janina Drozdowska



Wydawnictwo Instytut Śląski Sp. z o.o., Opole, ul. Piastowska 17, tel. 77 4540 123
e-mail: wydawnictwo@is.opole.pl
Nakład: 130 egz. Objętość: 4,80 ark. wyd., 5,75 ark. druk.

MAŁGORZATA PIOTROWICZ*

PIOTR ROMANOWSKI**

PIOTR WOYCIECHOWSKI***

Klasy pielęgnacji betonu według PN-EN 13670:2011 – kryteria wyboru i wpływ na kształtowanie właściwości betonu

Słowa kluczowe: beton, pielęgnacja, klasy pielęgnacji, trwałość.

Świeży beton powinien być pielęgnowany tak, aby zminimalizować skurczliwość plastyczną oraz zapewnić odpowiednią wytrzymałość i trwałość strefy powierzchniowej. Prawidłowa pielęgnacja jest warunkiem koniecznym do zapewnienia trwałości betonu. Celem prowadzonych badań było określenie wpływu przyjętej, zgodnie z normą PN-EN 13670:2011, klasy pielęgnacji betonu na właściwości związane z jego przypowierzchniową strukturą.

1. Wstęp

Prawidłowa pielęgnacja jest warunkiem koniecznym do zapewnienia trwałości betonu. Beton niepielęgnowany lub pielęgnowany nieprawidłowo wykazuje osłabienie warstwy powierzchniowej. Wynika to z fizykochemicznych zjawisk łączących się 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 temperaturze otoczenia ponad +10°C dominujące są zjawiska związane z niedostatkami wilgoci. Ewentualne skutki popełnienia błędów przy pielęgnacji są tym groźniejsze, im wyższa temperatura otoczenia (w której prowadzone są roboty betoniarskie) oraz im większa siła wiatru. Przy obniżonej temperaturze zapewnienie właściwych

* Mgr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Centrum Badań Betonów CEBET, m.piotrowicz@icimb.pl

** Mgr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Centrum Badań Betonów CEBET, p.romanowski@icimb.pl

*** Dr, Politechnika Warszawska, p.woyciechowski@il.pw.edu.pl

warunków wilgotnościowych jest równie ważne, ponadto istotna jest pielęgnacja cieplna. Często efekty błędów w pielęgnacji mogą być zauważone w krótkim czasie. Czasem jednak wygląd powierzchni betonu początkowo nie budzi poważniejszych zastrzeżeń. Defekty występujące w strukturze betonu ujawniają się w trakcie jego eksploatacji, powodując pogorszenie jego trwałości. Jednym z głównych defektów tego typu jest wzrost porowatości warstwy powierzchniowej betonu (tzn. otuliny zbrojenia), która pogarsza jej własności ochronne i szczelność [1–2].

W rezultacie pogorszeniu ulegają właściwości mechaniczne warstwy powierzchniowej betonu w konstrukcji, a także cechy charakteryzujące trwałość, takie jak wodoszczelność, mrozoodporność, odporność chemiczna, w tym odporność na wnikanie chlorków i na karbonatyzację. Wpływ ten jest większy w odniesieniu do betonów zawierających dodatki mineralne, stosowane do betonu jako zamiennik części cementu, a także w przypadku niskich wartości wskaźnika w/c.

2. Zasady pielęgnacji betonu według wymagań normy PN-EN 13670:2011

Zgodnie z zasadami określonymi w normie PN-EN 13670:2011 [3] świeży beton powinien być pielęgnowany, by:

- zminimalizować skurczliwość plastyczną,
- zapewnić odpowiednią wytrzymałość powierzchniową,
- zapewnić odpowiednią trwałość strefy powierzchniowej.

Pielęgnacja powinna obejmować ochronę betonu przed:

- szkodliwymi warunkami atmosferycznymi,
- zamarzaniem,
- szkodliwymi drganiami, uderzeniami lub uszkodzeniami.

Metoda pielęgnacji powinna być tak dobrana, aby chronić beton przed zbyt szybkim odparowywaniem wody z powierzchni lub utrzymywać tę powierzchnię stale wilgotną [9]. Pielęgnacja naturalna jest wystarczająca, gdy podczas wymaganego okresu pielęgnacji parowanie z powierzchni betonu będzie zachodzić z małą szybkością, np. podczas wilgotnej, deszczowej lub mglistej pogody.

Powierzchnia betonu powinna być poddana pielęgnacji bezzwłocznie po zagęszczeniu i wykończeniu tej powierzchni. Wybór klasy pielęgnacji według PN-EN 13670:2011 – Wykonywanie konstrukcji z betonu – zależy od oczekiwanego poziomu wytrzymałości betonu w chwili zakończenia pielęgnacji w odniesieniu do jego

wytrzymałości charakterystycznej po 28 dniach. W normie PN-EN 13670:2011 wyszczególniono, według tego kryterium, 3 klasy pielęgnacji (tab. 1).

Tabela 1

Klasy pielęgnacji wg PN-EN 13670:2011 [4]

	Klasy pielęgnacji			
	1	2	3	4
Czas (godziny)	12	NA	NA	NA
Procent wymaganej wytrzymałości charakterystycznej na ściskanie po 28 dniach	NA	35	50	70

NA – nie stosuje się.

We wskazanej normie przewidziano także wariant zminimalizowanego przebiegu pielęgnacji (klasa 1), w którym nie zakłada się analizowanej wytrzymałości, a okres pielęgnacji jest ograniczony do 12 godzin.

Wybór klasy pielęgnacji powinien według ustaleń normy wynikać z klasy ekspozycji, składu betonu oraz grubości otuliny zbrojenia. Ważne są również warunki klimatyczne i masywność elementów. Szczegółowe kryteria wyboru klasy pielęgnacji nie są jednak sprecyzowane, co powoduje, że w specyfikacjach wykonawczych planowana do zastosowania klasa pielęgnacji nie jest określona, pomimo iż takie wymaganie zawarte jest w normie PN-EN 13670:2011 (pkt 8.5).

Określenie klasy pielęgnacji pozwala wyznaczyć (według tabel F1, F2 i F3 w załączniku F normy PN-EN 13670:2011) minimalny czas trwania pielęgnacji, w zależności od temperatury powierzchni betonu i szybkości rozwoju wytrzymałości na ściskanie r ($r = f_{cm2}/f_{cm28}$). Zdaniem autorów, klasa 1 pielęgnacji nie powinna być zalecana w większości przypadków, ponieważ tak krótki czas pielęgnacji (12 h) jest niewystarczający do uzyskania właściwej jakości przypowierzchniowej warstwy betonu. Wybór klasy 1 pielęgnacji jest uzasadniony w odniesieniu do betonu o niskich wymaganiach jakościowych, przeznaczonego do eksploatacji w środowiskach nieagresywnych. Dokonanie wyboru klasy pielęgnacji betonu spośród klas 2, 3, 4 z uwagi na oczekiwaną, zgodnie z tabelą 1, wytrzymałość na ściskanie bezpośrednio po pielęgnacji, wymaga wzięcia pod uwagę uwarunkowań doraźnych (historia obciążenia elementu w okresie dojrzewania zarówno ciężarem własnym, jak i obciążeniem zewnętrznym) oraz uwarunkowań długoterminowych (klasa ekspozycji betonu). W związku z powyższym przedstawiono propozycję kryteriów wyboru klasy pielęgnacji z uwagi na wymaganą wytrzymałość na ściskanie bezpośrednio po pielęgnacji (tab. 2).

Tabela 2

Kryteria wyboru klasy pielęgnacji z uwagi na wymaganą wytrzymałość na ściskanie bezpośrednio po pielęgnacji dla przykładowych konstrukcji

Warunki obciążenia betonu w okresie dojrzewania (przed 28. dniem)	Warunki ekspozycji betonu na czynniki agresywne w czasie eksploatacji wg PN-EN 206-1:2003 [10] i PN-B-06265:2004 [11]	
	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
	ściany konstrukcyjne i niekonstrukcyjne, słupy, mury oporowe, posadzki, nawierzchnie	
Występuje znaczne obciążenie (> 30% w stosunku do użytkowego); konieczne stosowanie dodatkowych podparć tymczasowych lub w specyfikacji sformułowano wysokie wymagania w zakresie wytrzymałości wczesnej	klasa 4	klasa 4
	płyty stropowe, balkonowe, belki, schody	

Dokonany wybór klasy pielęgnacji betonu nie determinuje metody pielęgnacji betonu. Według normy PN-EN 13670:2011 [4] odpowiednie do stosowania są następujące techniki pielęgnacji:

- pozostawienie deskowania na miejscu betonowania;
- pokrycie powierzchni betonu paroszczelnymi powłokami, zabezpieczonymi przed wysychaniem przy krawędziach i złączach;
- układanie mokrych mat na powierzchni betonu i zabezpieczenie ich przed wysychaniem;
- utrzymywanie powierzchni betonu w stanie wilgotnym przez odpowiednie użycie wody;
- wykorzystanie preparatów pielęgnujących o ustalonej skuteczności.

Można również stosować inne metody pielęgnacji o równoważnej efektywności [4].

Jak wynika z przeprowadzonej analizy, ujęcie normowe zagadnienia pielęgnacji betonu obejmuje jedynie określenie oczekiwanej wytrzymałości na ściskanie bezpośrednio po zakończeniu pielęgnacji. Należy jednak zwrócić uwagę, że wybór klasy pielęgnacji powinien być także istotnie związany z wymaganiami odnośnie do cech trwałościowych betonu. Czas trwania pielęgnacji, wystarczający z uwagi na wymaganą wytrzymałość po jej zakończeniu, może nie być wystarczający z punktu widzenia wymagań w zakresie wodoszczelności, mrozoodporności i innych właściwości ściśle związanych z jakością i szczelnością warstwy powierzchniowej betonu [4].

Należy sądzić, że wpływ czasu trwania pielęgnacji wilgotnościowej na te cechy trwałościowe betonu może być nawet większy niż na wytrzymałość na ściskanie. Tak więc być może wybór klasy pielęgnacji powinien uwzględniać, oprócz normowych kryteriów wytrzymałościowych, także osobno sformułowane kryteria dotyczące miar trwałości betonu. Wykazanie potrzeby opracowania wytycznych wynikających ze związków pielęgnacji i oczekiwanej trwałości betonu stanowiło inspirację do podjęcia pierwszego etapu badań, omówionego w niniejszej pracy.

3. Cel i zakres badań

Celem przeprowadzonych badań, wykonanych w ramach prac statutowych finansowanych ze środków budżetowych przyznanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, było określenie wpływu prowadzenia pielęgnacji, zgodnie z przyjętą klasą według PN-EN 13670:2011, na właściwości betonu związane z jego przypowierzchniową strukturą, tj. na nasiąkliwość i głębokość penetracji wody pod ciśnieniem oraz na wytrzymałość na ściskanie.

Badania przeprowadzono na próbkach laboratoryjnych wykonanych z betonu klasy wytrzymałości na ściskanie powszechnie stosowanej w budownictwie, tj. C25/30, z użyciem cementu CEM I 32,5 R i CEM II/B-V 32,5 R-HSR z jednej cementowni oraz z kruszywami frakcjonowanymi do 16 mm, bez stosowania domieszek chemicznych.

Badania prowadzono w odniesieniu do dwóch skrajnych wariantów pielęgnacji betonu przewidzianych w ujęciu normy PN-EN 13670:2011 (tab. 4 w normie), tj. klasy 1 i klasy 4. Taki plan badań pozwolił wykazać zarówno istotność wpływu klasy pielęgnacji na cechy betonu, jak i to, że klasa 1 pielęgnacji jest z reguły niewystarczająca. Czas trwania pielęgnacji dla klasy 4 (tab. F.3 w normie) określono dla przyjętej w badaniach temperatury powierzchni betonu ok. 25°C i rozwoju wytrzymałości betonu na ściskanie (tab. 3).

Tabela 3

Rozwój wytrzymałości betonu na ściskanie [4]

Właściwość	Rodzaj cementu	
	CEM I 32,5 R	CEM II/B-V 32,5 R-HSR
f_{cm2}	21,60	19,60
f_{cm28}	36,90	35,80
$r = f_{cm2}/f_{cm28}$	0,58	0,54

Zgodnie z normą PN-EN 13670:2011 jest to szybki rozwój wytrzymałości na ściskanie ($r \geq 50$). Dla takiego przypadku minimalny czas trwania pielęgnacji według klasy 4 wynosi 3 dni.

Przyjęto następujący sposób pielęgnacji: próbki zaformowane według procedury zawartej w normie PN-EN 12390-2:2011 [5] przykrywano folią i umieszczano w komorze o temperaturze ok. 25°C i wilgotności ok. 95%. Rozformowanie następowało po 24 godzinach, a pielęgnacja próbek polegała na umieszczeniu ich w warunkach jak podano powyżej, oraz dodatkowo przykryciu wilgotną tkaniną na cały okres pielęgnacji. Beton zaprojektowano przy założeniu klasy wytrzymałości na ściskanie C25/30 oraz klasy konsystencji według metody opadu stożka S1.

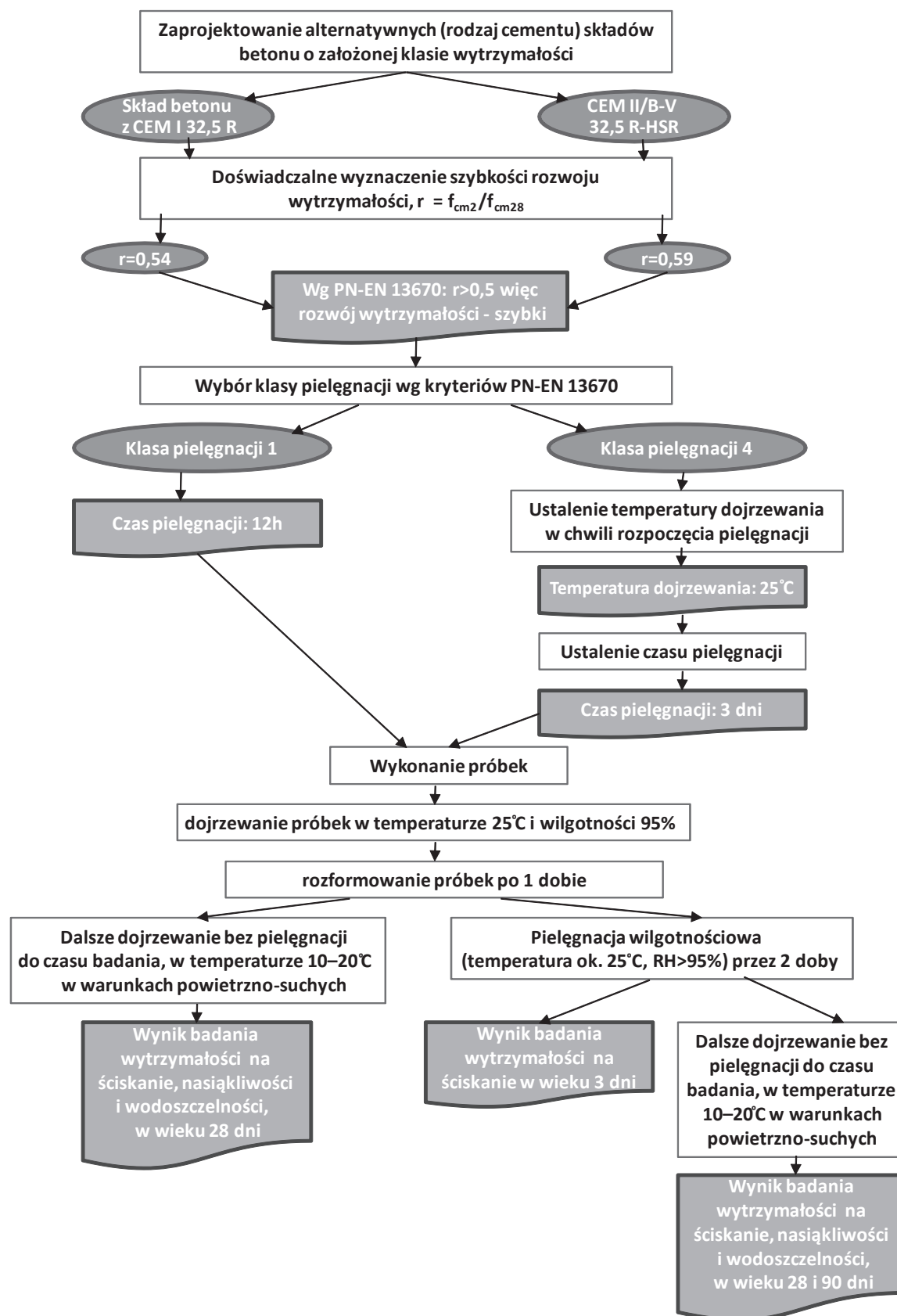
Przebieg dojrzewania próbek i zakres badań stwardniałego betonu przedstawiono na rycinie 1, a skład i właściwości mieszanki betonowej w tabeli 4.

Tabela 4

Skład i właściwości mieszanki betonowej

Nazwa składnika	Ilość składnika [kg/m ³]	
Cement	330	
Piasek	680	
Żwir 2/4 mm	230	
Żwir 4/8 mm	410	
Żwir 8/16 mm	570	
Woda	170	
Właściwość mieszanki betonowej	Rodzaj cementu	
	CEM I 32,5 R	CEM II/ B-V 32,5 R-HSR
Stosunek w/c	0,515	0,515
Opad stożka [mm]	30	35
Gęstość [kg/m ³]	2340	2351
Zawartość powietrza [%]	1,9	1,8

Źródło: Badania własne.



Ź r ó d ł o: Opracowanie własne.

Ryc. 1. Schemat zakresu i przebiegu badań

4. Wyniki badań betonu

Wyniki badań betonu, tj. wytrzymałość na ściskanie, nasiąkliwość i wodoszczelność, oznaczono w odniesieniu do dwóch skrajnych wariantów pielęgnacji – klasy 1 i klasy 4. Otrzymane wyniki zestawiono w tabelach 5 i 6.

Tabela 5

Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie i nasiąkliwości betonu

Badana cecha	Rodzaj cementu			
	CEM I 32,5 R		CEM II/ B-V 32,5 R-HSR	
	klasa pielęgnacji 1	klasa pielęgnacji 4	klasa pielęgnacji 1	klasa pielęgnacji 4
Wytrzymałość na ściskanie [MPa]				
f_c^3	–	21,7	–	23,2
f_c^{28}	32,4	39,1	32,7	41,1
f_c^{90}	–	41,2	–	45,6
Nasiąkliwość [%]				
N^{28}	5,7	5,8	5,4	5,4


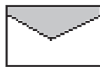

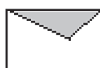








f_c^3 , f_c^{28} , f_c^{90} – wytrzymałość na ściskanie badana na próbkach o wymiarach 100 x 100 x 100 mm po 3, 28 i 90 dniach dojrzewania wg PN-EN 12390-3:2011 [6].

N^{28} – nasiąkliwość betonu badana na próbkach o wymiarach 100 x 100 x 100 mm wg PN-88/B-06250 pkt 6.4 [7].

Źródło: Badania własne.

Tabela 6







Głębokość penetracji wody pod ciśnieniem po 28 dniach – W^{28} [mm]

Rodzaj cementu	Klasa pielęgnacji 1			Klasa pielęgnacji 4		
	max głębokość dla próbki	obraz zawilgocenia	średnia	max głębokość dla próbki	obraz zawilgocenia	średnia
CEM I 32,5 R	150		150	87		66
	150			72		
	150			40		
CEM II/B-V 32,5 R-HSR	150		133	53		55
	100			51		
	150			62		

Źródło: Badania własne.

Tabela 7

Głębokość penetracji wody pod ciśnieniem po 90 dniach – W^{90} [mm]

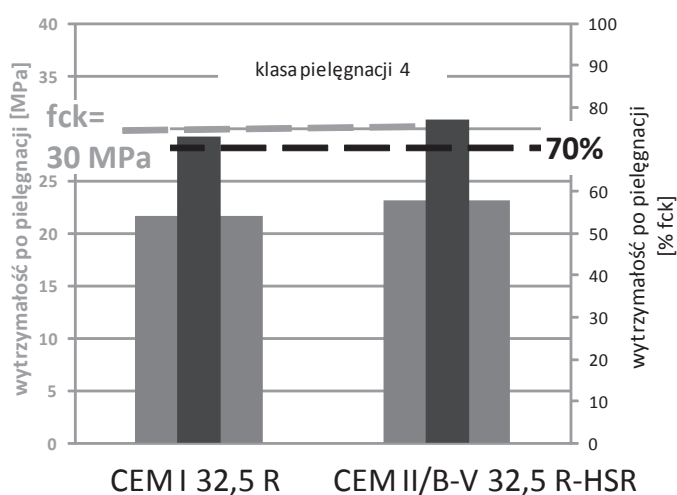
Rodzaj cementu	Klasa pielęgnacji 4		
	max głębokość dla próbki	obraz zawilgocenia	średnia
CEM I 32,5 R	65		65
	45		
	85		
CEM II/B-V 32,5 R-HSR	60		58
	55		
	60		

Źródło: Badania własne.

W^{28} , W^{90} – głębokość penetracji wody pod ciśnieniem badana na próbkach o wymiarach 150 x 150 x 150 mm po 28 i 90 dniach dojrzewania według PN-EN 12390-8:2011 [7].

5. Analiza wyników badań

Niezależnie od rodzaju zastosowanego cementu bezpośrednio po pielęgnacji prowadzonej przez czas odpowiedni dla klasy 4 (w warunkach badania – 3 dni) uzyskano oczekiwany poziom wytrzymałości, tzn. nie mniej niż 70% wytrzymałości charakterystycznej na ściskanie (ryc. 2).



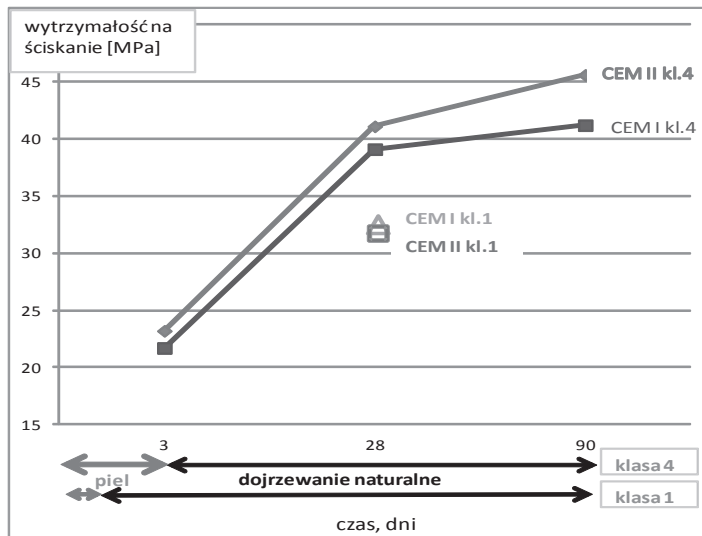
Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 2. Wytrzymałość bezpośrednio po pielęgnacji – klasa 4

Po 28 dniach dojrzewania w warunkach naturalnych betony pielęgnowane według zasad dla klasy 4 uzyskały wyższe wytrzymałości niż te same betony pielęgnowane w warunkach laboratoryjnych.

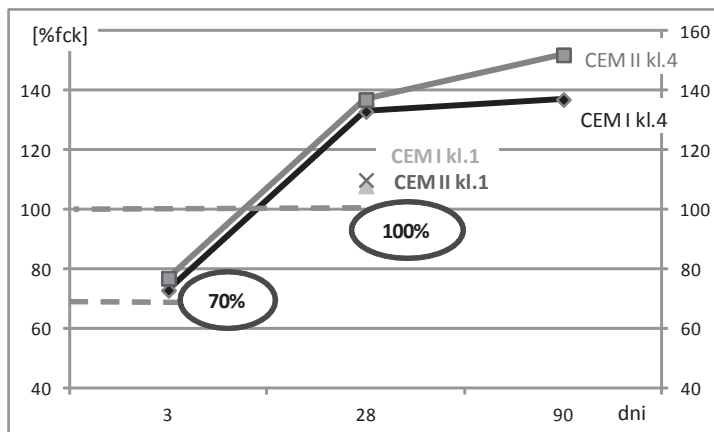
gnowane według wymagań dla klasy 1 pielęgnacji (ryc. 3). Różnica ta wyniosła 20,6% w przypadku betonu z cementem portlandzkim CEM I i 25,5% w odniesieniu do betonu z cementem portlandzkim popiołowym CEM II/B-V.

W przypadku przyjęcia klasy pielęgnacji 1 wytrzymałość po 28 dniach była większa od minimalnej wytrzymałości charakterystycznej (patrz PN-EN 206-1 – tab. 7) o 8–9%, zaś w odniesieniu do klasy pielęgnacji 4 o 30–37%. Niemniej jednak, niezależnie od klasy pielęgnacji, wszystkie betony uzyskały po 28 dniach wytrzymałość większą niż wymagana minimalna wytrzymałość charakterystyczna wynosząca 30 MPa (ryc. 4).



Ź r ó d ł o: Opracowanie własne.

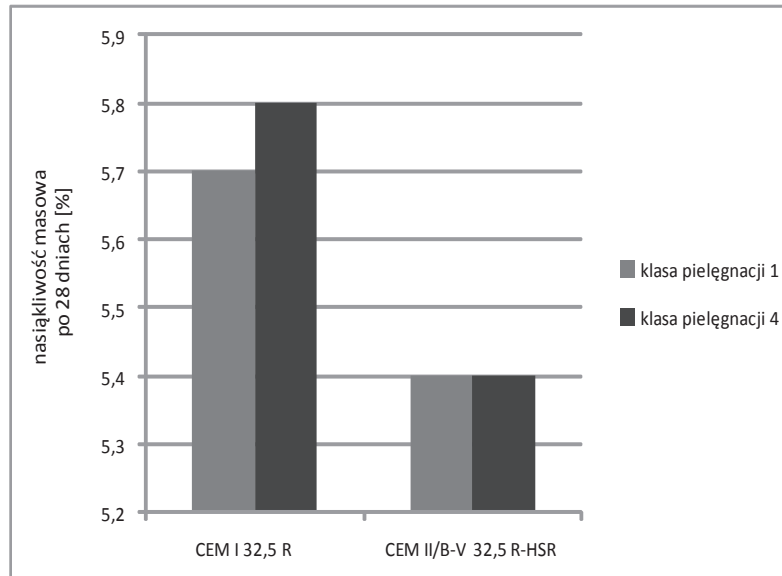
Ryc. 3. Rozwój wytrzymałości na ściskanie w czasie, zależnie od klasy pielęgnacji rodzaju cementu



Ź r ó d ł o: Opracowanie własne.

Ryc. 4. Narastanie w czasie wytrzymałości względnej (odniesionej do założonej wytrzymałości minimalnej charakterystycznej)

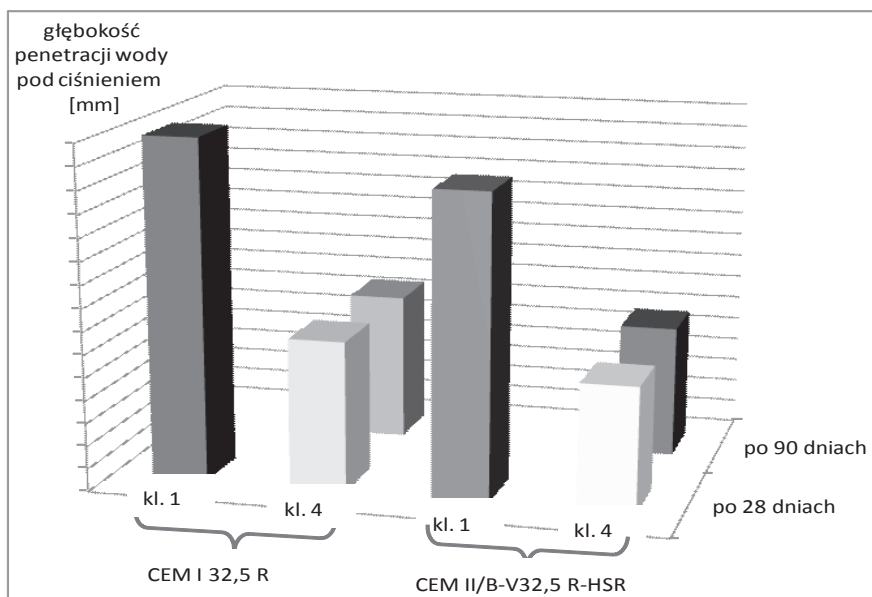
Nie stwierdzono istotnych różnic w wynikach badania nasiąkliwości masowej betonów, pielęgnowanych według wymagań dla klasy 1 i 4 (ryc. 5). Rozrzut wyników badania nasiąkliwości w przypadku obu cementów nie przekroczył 0,1%. Uzyskano nieznacznie, tj. o ok. 6–7%, niższą nasiąkliwość betonów z cementem popiołowym.



Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 5. Wpływ klasy pielęgnacji na nasiąkliwość betonu w zależności od rodzaju cementu

Badania wykazały istotny wpływ klasy pielęgnacji na wynik badania głębokości wnikania wody pod ciśnieniem. Zgodnie z oczekiwaniami, nieznacznie lepsze wyniki (lepsza wodoszczelność) uzyskano dla betonów z cementem popiołowym, ale różnice w głębokości wniknięcia wody nie przekroczyły 20%, niezależnie od klasy pielęgnacji. Znaczne różnice wystąpiły natomiast pomiędzy betonem pielęgnowanym według wymagań klasy 1 i klasy 4 (ryc. 6). W przypadku betonu z cementem CEM I próbki pielęgnowane według klasy 1 w trakcie badania po 28 dniach przeciekły (głębokość wniknięcia wody – 150 mm), natomiast próbki pielęgnowane według klasy 4 wykazały średnią głębokość wniknięcia wody wynoszącą 66 mm, tj. o blisko 60% mniejszą. Podobnie w przypadku betonów z cementem popiołowym – próbki pielęgnowane według klasy 4 wykazały głębokość zawilgocenia mniejszą o 58% niż próbki pielęgnowane według klasy 1. Głębokości wniknięcia wody w beton po 28 i 90 dniach były praktycznie takie same (65–66 mm w przypadku betonu z CEM I i 55–58 mm w przypadku betonu z CEM II). W świetle powyższych wyników można zatem uznać, że przyjęcie klasy pielęgnacji miało kluczowe znaczenie dla wodoszczelności (głębokości wnikania wody pod ciśnieniem) badanych betonów.



Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 6. Porównanie głębokości wniknięcia w beton wody pod ciśnieniem w zależności od klasy pielęgnacji

6. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych i analiz otrzymanych wyników można stwierdzić, że w odniesieniu do betonu o szybkim rozwoju wytrzymałości ($r \geq 0,5$) pielęgnowanego w relatywnie wysokiej temperaturze (ok. 25°C) zaobserwowano następujące prawidłowości:

- pielęgnacja według wymagań klasy 1 pozwoliła uzyskać 28-dniową wytrzymałość z minimalnym zapasem (ok. 5%) w stosunku do minimalnej wytrzymałości charakterystycznej odpowiadającej założonej klasie betonu, pomimo prowadzenia badań w warunkach laboratoryjnych. Wskazuje to na znaczne ryzyko niespełnienia wymagań wytrzymałościowych w warunkach budowy, w przypadku przyjęcia klasy pielęgnacji 1 (niespełniony warunek dla założonej klasy betonu C25/30 $f_{cm} = 30 + 4 = 34 \text{ MPa}$ – tab. 14 w PN-EN 206-1);
- pielęgnacja według wymagań klasy 4 pozwoliła uzyskać wymagane 70% wytrzymałości charakterystycznej bezpośrednio po zakończeniu pielęgnacji. Po 28 dniach taka pielęgnacja pozwoliła uzyskać wytrzymałość z wystarczającym zapasem (ponad 20%) w stosunku do minimalnej wytrzymałości charakterystycznej odpowiadającej założonej klasie betonu;
- nie stwierdzono istotnych różnic we wpływie pielęgnacji na beton z cementem portlandzkim i z cementem portlandzkim wieloskładnikowym popiołowym;
- nie zaobserwowano wpływu klasy pielęgnacji na nasiąkliwość masową betonu;

- klasa pielęgnacji miała kluczowe znaczenie dla głębokości wnikania w beton wody pod ciśnieniem.

Przeprowadzone badania mają charakter wstępny, ale ich rezultaty wyraźnie wskazują na potrzebę pogłębienia wiedzy o kompleksowo ujętym wpływie wyboru normowej klasy pielęgnacji na cechy betonu. Celowe wydają się badania wpływu klasy pielęgnacji na wodoszczelność, a także mrozoodporność, szczególnie powierzchniową (*scaling*), natomiast za mniej istotne można uznać dalsze badania nad nasiąkliwością. W następnych badaniach konieczna jest ocena efektów pielęgnacji w odniesieniu do następujących zmiennych materiałowo-technologicznych nieuwzględnionych w dotychczasowych analizach:

- szerokiego zakresu stosunku w/c i innych rodzajów cementu (zwłaszcza CEM III);
- pośrednich klas pielęgnacji (tzn. 2 i 3);
- średniego i wolnego rozwoju wytrzymałości na ściskanie;
- pozostałych zakresów temperatury wyszczególnionych w normie PN-EN 13670 (tj. 25–15°C, 15–10°C oraz 10–5°C).

Literatura

- [1] Jackiewicz - Rek W., Woyciechowski P., *Pielęgnacja – klucz do zapewnienia trwałości betonu w konstrukcji*, „Budownictwo, Technologie, Architektura” 2012, nr 3, s. 54–58.
- [2] Woyciechowski P., Jackiewicz - Rek W., *Rola pielęgnacji w kształtowaniu trwałości betonu*, „Materiały Budowlane” 2012, nr 5, s. 44–48.
- [3] Bajorek G., *Pielęgnacja betonu*, „Budownictwo, Technologie, Architektura” 2006, nr 4, s. 48–50.
- [4] PN-EN 13670:2011 – Wykonywanie konstrukcji z betonu.
- [5] PN-EN 12390-2:2011 – Badania betonu. Część 2: Wykonywanie i pielęgnacja próbek do badań wytrzymałościowych.
- [6] PN-EN 12390-3:2011 – Badania betonu. Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badań.
- [7] PN-EN 12390-8:2011 – Badania betonu. Część 8: Głębokość penetracji wody pod ciśnieniem.
- [8] PN-B-06250:1988 – Beton zwykły.
- [9] Bajorek G., Kiernia - Hnat M., Skrzypczak I., *Wykonywanie betonu, nareszcie unormowane – PN-EN 13670:2011. Zagadnienia dotyczące betonu*, „Budownictwo, Technologie, Architektura” 2012, nr 3, s. 62–66.
- [10] PN-EN 206-1:2003 + A1:2003 + A2:2003 + Ap1:2003 – Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
- [11] PN-B-06265:2004. Krajowe uzupełnienia PN-EN 206-1:2003 – Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.

*MAŁGORZATA PIOTROWICZ
PIOTR ROMANOWSKI
PIOTR WOYCIECHOWSKI*

CLASSES OF CONCRETE MAINTENANCE IN ACCORDANCE
WITH PN-EN 13670:2011 – SELECTION AND INFLUENCE
ON THE PROPERTIES OF CONCRETE

Keywords: concrete, concrete curing, concrete curing class, sustainability.

Fresh concrete should be cured so as to minimize plastic shrinkage and ensure adequate strength and durability of the surface zone. Proper concrete curing is necessary to ensure the sustainability of concrete. The aim of the research was to determine the effect adopted in accordance with PN-EN 13670:2011, class of concrete curing on the characteristics associated with the subsurface structure.