

Wymagania jakościowe stawiane składnikom betonu drogowego

Beton jest nowoczesnym i konkurencyjnym wobec asfaltu materiałem do wykonywania nawierzchni dróg. W niniejszym artykule uwaga zostanie skupiona na właściwym doborze składników do produkcji betonu na nawierzchnie drogowe.

1. Wprowadzenie

Poprawnie wykonana droga o nawierzchni betonowej posiada wiele zalet. Należą do nich przede wszystkim wysoka odporność na przenoszenie obciążeń (wartość stała niezależna od temperatury i warunków atmosferycznych), dobra nośność, dobra przyczepność, jasny kolor (poprawa bezpieczeństwa ruchu drogowego), obniżony poziom hałasu (na styku opony – droga) oraz niewielkie wymagania w zakresie konserwacji [1, 2].

Rodzaje nawierzchni drogowych, zasady projektowania i wykonywania opisane są w monografii prof. A. Szydło [2].

2. Ogólne wymagania dla betonu w inżynierii komunikacyjnej

Beton stosowany w budowie dróg i mostów musi charakteryzować się wysoką jakością, z uwagi na fakt, że poddawany jest dużym obciążeniom mechanicznym oraz działaniu zmiennych temperatur, zazwyczaj w obecności środków odladzających. Dlatego też beton musi być zaprojektowany z odpowiedniej jakości składników (cementu, kruszyw niereaktywnych), prawidłowo wykonany, bardzo dobrze zagęszczony oraz odpowiednio pielęgnowany.

Wymagania dla betonu pracującego w określonych warunkach (klasa ekspozycji) zawarte są w normie PN-EN 206-1:2003 [3]. Kierując się zapisami normy [3] oraz warunkami eksploatacyjnymi obiektów inżynierii lądowej w trakcie ich cyklu życia, można konstrukcjom mostowym i nawierzchniom drogowych przypisać klasy ekspozycji przed-

stawione w tabeli 1. Beton w tych klasach ekspozycji powinien charakteryzować się parametrami odnośnie składu i właściwości, które przedstawiono w tabeli 2. Projektując i wykonując beton na nawierzchnie drogowe i konstrukcje mostowe, szczególną uwagę w naszych warunkach klimatycznych należy zwrócić na jego właściwe napowietrzenie. Odpowiednia zawartość powietrza w stwardniałym betonie (w granicach 4,0 ÷ 6,0%) oraz właściwe rozmieszczenie i rozmiar porów (pory żelowe) w dużej mierze decydują o odporności betonu na działanie mrozu, zwłaszcza w obecności środków odladzających [4, 5].

3. Składniki betonu stosowanego w inżynierii komunikacyjnej

3.1. Cement

Cement stanowi podstawowy materiał wiążący stosowany w budownictwie drogowym i mostowym. Jest on używany do stabilizacji gruntu, ulepszenia podbudowy, wykonania betonowych nawierzchni drogowych oraz żelbetowych konstrukcji mostowych.

Wymagania dotyczące cementów powszechnego użytku zawarte są w normie PN-EN 197-1:2002 (wraz z późniejszymi zmianami) [6], natomiast norma PN-B-19707 [7] zawiera wymagania dotyczące składu i właściwości dla cementów specjalnych (niskoalkalicznych NA, siarczanoodpornych HSR). Wymagania odnośnie cementów o niskim cieple hydratacji (LH) zawarte są w aktualnej wersji normy PN-EN 197-1 – jest to bardzo ważna, niedoceniana w praktyce właściwość cementu (reakcja cementu z wodą jest reakcją egzotermiczną).

Postępując zgodnie z zapisami i regułami normy na beton PN-EN 206-1 [3], dobierając cement do określonego rodzaju betonu, należy wziąć pod uwagę:

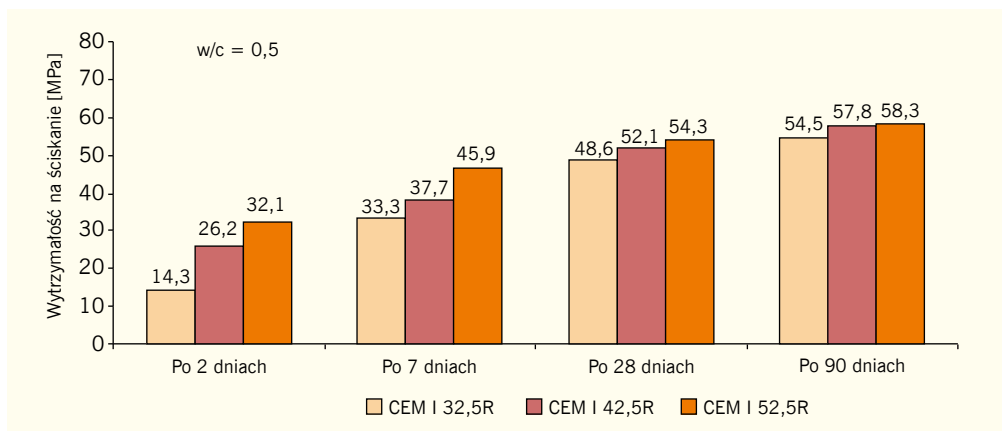
Tabela 1. Opis klas ekspozycji wg PN-EN 206-1 [3] dla betonu na obiektach mostowych

Klasa ekspozycji	Opis środowiska	Przykłady występowania klas ekspozycji
XC2	Mokre, sporadycznie suche	Powierzchnie betonu narażone na długotrwały kontakt z wodą, najczęściej fundamenty
XF2	Umiarkowanie nasycone wodą ze środkami odladzającymi	Pionowe powierzchnie betonowe konstrukcji drogowych narażone na zamarzanie i działanie środków odladzających z powietrza
XF4	Silnie nasycone wodą ze środkami odladzającymi lub wodą morską	Jezdnie dróg i mostów narażone na działanie środków odladzających. Powierzchnie betonowe narażone bezpośrednio na działanie aerozoli zawierających środki odladzające i zamarzanie. Strefy rozbryzgu w budowlach morskich narażone na zamarzanie
XA2	Środowisko chemicznie średnio agresywne (zdefiniowane w normie PN-EN 206)	Elementy narażone na oddziaływanie substancji agresywnych (np. fundamenty, podpory zanurzone w wodzie).
XA3	Środowisko chemicznie silnie agresywne (zdefiniowane w normie PN-EN 206)	Wymagane jest stosowanie cementu odpornego na siarczany HSR

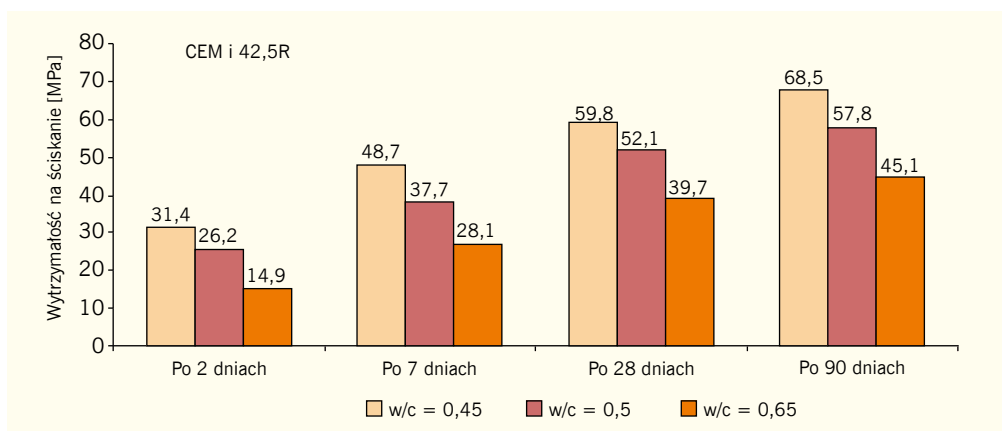
Tabela 2. Wymagania dla betonu według PN-EN 206-1 w wybranych klasach ekspozycji

Klasa ekspozycji	max w/c	Min. zawartość cementu, kg	min. klasa betonu	Minimalne napowietrzenie, %
XC2	0,60	280	C25/30	-
XF2	0,55	300	C25/30a	4,0b
XF4	0,45	340	C30/37a	4,0b
XA2	0,50	320	C 30/37	Cement HSR
XA3	0,45	360	C 35/45	Cement HSR

a – kruszywo zgodne z EN 12620:2000 o odpowiedniej odporności na zamrażanie/rozmarzanie, b – gdy beton nie jest napowietrzony, jego użyteczność zaleca się badać odpowiednią metodą, porównując z betonem, którego odporność na zamrażanie/rozmarzanie dla danej klasy ekspozycji jest potwierdzona



Rys. 1. Wpływ klasy wytrzymałościowej cementu na wytrzymałość betonu przy stałym w/c



Rys. 2. Wpływ w/c na wytrzymałość betonu z użyciem cementu portlandzkiego CEM I 42,5R

- realizację robót
- przeznaczenie betonu
- warunki pielęgnowania (np. obróbka cieplna)
- wymiary konstrukcji (ilość ciepła wydzielana w trakcie procesu hydratacji cementu)
- warunki środowiska, na które będzie narażona konstrukcja
- potencjalną reaktywność kruszywa z alkaliemi zawartymi w składnikach betonu.

Niestety, nasze krajowe dokumenty odniesienia z tego obszaru (normy, rozporządzenia ministerialne, specyfikacje techniczne) bardzo ograniczają możliwość właściwego doboru cementu [8-10]. Jest to, zdaniem autora, przyczyną wielu usterek i wad na wznoszonych obiektach inżynierii komunikacyjnej.

Praktycznie dokumenty te dopuszczają tylko do stosowania jedynie cement portlandzki CEM I niskokalicyzny NA o ustalonym składzie mineralnym [8]:

- zawartość krzemianu trójwapniowego (alitu) C_3S – nie większa niż 60%
- zawartość glinianu trójwapniowego C_3A – nie większa niż 7%
- zawartość określona ułamkiem masowym $C_4AF + 2x C_3A$ – nie większa niż 20%.

Następne ograniczenia podane w rozporządzeniu [8] dotyczą stosowania odpowiedniej klasy wytrzymałościowej cementu portlandzkiego CEM I do odpowiedniej klasy betonu:

- 1) do betonu klasy B 25 – cement portlandzki CEM I 32,5NA
- 2) do betonu klasy B 30, B 35 i B 40 – cement portlandzki CEM I 42,5NA
- 3) do betonu klasy B 45 i większej – cement portlandzki CEM I 52,5NA.

Takie zapisy są niezgodne z „filozofią” europejskiej normy betonowej PN-EN 206-1 [3], która dla betonu trwałego w danej klasie ekspozycji (środowisku pracy) wymaga wartości granicznych dotyczących jego składu: dopuszczonych rodzajów i klasy składników, maksymalnego współczynnika woda/cement (w/c), minimalnej zawartości cementu, minimalnej klasy wytrzymałości na ściskanie, minimalnej zawartości powietrza w mieszance betonowej (dotyczy betonów narażonych na działanie mrozu).

Potwierdzają to badania własne autorów (rys. 1, 2), z których wynika, że lepszym i efektywniejszym rozwiązaniem z punktu widzenia trwałości obiektu betonowego jest wykonanie betonu przy niższym w/c niż stosowanie, do wykonywania betonów wyższych klas wytrzymałościowych, cementu klasy 42,5 N(R) lub 52,5N (R).

Dobierając cement do wykonania obiektu w inżynierii komunikacyjnej, należy kierować się technologią prowadzenia robót (beton sprężany wymaga stosowania cementu o szybkim przyroście wytrzymałości, np. cementu portlandzkiego CEM I 42,5R; do wykonania pylonu w technologii ślizgu korzystny jest cement o umiarkowanym przyroście wytrzymałości, np. cement portlandzki żuźlowy CEM II/B-S 32,5R lub CEM II/B-S 42,5N), porą roku (latem należy stosować cementy o niższym cieple hydratacji; w okresach obniżonych temperatur cementy o wyższym cieple hydratacji), grubością elementu betonowego (do betonów masywnych należy stosować cementy o niskim cieple hydratacji LH, np. cement hutniczy CEM III/A,B 32,5N LH/HSR/NA) lub agresywnością gruntu czy wód gruntowych (cementy HSR).

Tabela 3. Cement do betonowych nawierzchni drogowych

Rodzaj nawierzchni	Rodzaj cementu	Wymagania normowe	Wymagania specjalne
Typowa nawierzchnia betonowa	Cement portlandzki CEM I	PN-EN 197-1	Właściwa ilość wody $\leq 28\%$ Wytrzymałość na ściskanie po 2 dniach ≤ 29 MPa Stożek zmielenia ≤ 3500 cm ² /g Początek wiązania ≥ 120 minut Zawartość Na ₂ O eq $\leq 0,80\%$
	Cement portlandzki żużlowy CEM II/A-S	PN-EN 197-1	Zawartość Na ₂ O eq $\leq 0,80\%$
	Cement portlandzki żużlowy CEM II/B-S		Zawartość Na ₂ O eq $\leq 0,90\%$
	Cement portlandzki popiołowy CEM II/A-V	PN-EN 197-1	Zawartość Na ₂ O eq $\leq 0,80\%$
	Cement portlandzki wapienny CEM II/A-LL	PN-EN 197-1	Zawartość alkaliów Na ₂ O eq $\leq 0,80\%$
	Cement hutniczy CEM III/A	PN-EN 197-1	Zawartość Na ₂ O eq $\leq 1,05\%$
Nawierzchnia betonowa do wczesnego obciążenia ruchem	Cement portlandzki CEM I 42,5N CEM I 42,5R	PN-B-19707	Właściwa ilość wody $\leq 28\%$ Wytrzymałość na ściskanie po 2 dniach ≤ 29 MPa Stożek mielenia ≤ 3500 cm ² /g Początek wiązania ≥ 120 minut Zawartość Na ₂ O eq $\leq 0,80\%$
Nawierzchnie betonowe w warunkach agresji siarczanowej	Cement o wysokiej odporności na siarczan CEM I HSR		Zawartość Na ₂ O eq $\leq 0,80\%$
	Cement portlandzki żużlowy CEM II/A,B-S HSR		Zawartość Na ₂ O eq $\leq 1,05\%$
	Cement hutniczy CEM III/A HSR		

Tabela 4. Asortyment cementów produkowanych przez krajowy przemysł cementowy

Rodzaj cementu	Asortyment
Cement portlandzki CEM I	CEM I 32,5R; CEM I 42,5N; CEM I 42N-HSR/NA; CEM I 42,5N-NA; CEM I 42,5R; CEM I 42,5R-NA CEM I 52,5R; CEM I 52,5R-NA
Cement portlandzki wieloskładnikowy CEM II/A,B	CEM II/A-V 32,5R; CEM II/B-V 32,5R; CEM II-B-V 32,5R-HSR; CEM II/B-S 32,5R; CEM II/B-M(V-LL) 32,5R; CEM II/B-M(S-V) 32,5R; CEM II/A-LL 42,5R; CEM II/A-S 42,5N; CEM II/A-V 42,5R; CEM II/B-S 42,5N; CEM II/B-S 42,5N-NA; CEM II/B-S 42,5R; CEM II/B-S 52,5N
Cement hutniczy CEM III/A,B	CEM III/A 32,5N; CEM III/A 32,5N-LH; CEM III/A 32,5N-LH-HSR/NA; CEM III/A 42,5N; CEM III/A 42,5N-HSR/NA; CEM III-B 32,5N-LH
Cement wieloskładnikowy CEM V/A,B	CEM V/A (S-V) 32,5N-LH

Tabela 5. Zalecane graniczne uziarnienie kruszywo

Bok oczka sита [mm]	Przechodzi przez sito, [%]		
	Kruszywo 0 ÷ 8,0 mm	Kruszywo 0 ÷ 16,0 mm	Kruszywo 0 ÷ 32,5 mm
0,25	5 ÷ 11	3 ÷ 8	2 ÷ 8
0,5	14 ÷ 26	7 ÷ 20	5 ÷ 18
1,0	21 ÷ 42	12 ÷ 32	8 ÷ 28
2,0	36 ÷ 57	21 ÷ 42	14 ÷ 37
4,0	61 ÷ 74	36 ÷ 56	23 ÷ 47
8,0	100	60 ÷ 76	38 ÷ 62
16,0		100	62 ÷ 80
31,5			100

Naprzeciw takiemu podejściu wychodzą proponowane zmiany [9] w Rozporządzeniu Ministra Transportu [8], chociaż dyskusja w tym temacie trwa już ponad 10 lat i na razie końca nie widać. W tabeli 3 przedstawiono wymagania stawiane cementom w dokumencie [9]. Podobne, uaktualnione wymagania są także zawarte w dokumencie [12], gdzie jest wskazówka, że cement powinien być dobrany zgodnie z PN-EN 206-1 [3]. W tymże dokumencie [12] zaleca się także stosowanie w wykonawstwie dróg o wyższej kategorii ruchu, tj. KR 4, KR5 i KR 6 cementów portlandzkich CEM I 32,5N, CEM I 32,5R, CEM I 42,5N i CEM I 42,5R. Zawartość cementu w betonie dla tych kategorii ruchu powinna wynosić nie mniej niż 360,0 kg/m³ betonu. W przypadku kiedy wykonujemy nawierzchnię górną z betonu płukanego, zawartość cementu w tej warstwie powinna być podwyższona do 420 kg/m³.

Wydaje się, że są to zmiany idące w dobrym kierunku. Aktualna oferta krajowego przemysłu cementowego jest bardzo szeroka (tabela 4) i pozwala na dobór cementu do wszelkich zastosowań w budownictwie drogowym, od stabilizacji gruntu, aż po wykonywanie nawierzchni z betonu o bardzo wysokich parametrach wytrzymałościowych (klasa wytrzymałości na ściskanie powyżej C40/50). Wymogi ekologiczne (emisja CO₂, oszczędność energii i surowców naturalnych) i ekonomiczne (cena) uzasadniają, w coraz szerszym stopniu, stosowanie w budowie dróg cementów z dodatkami mineralnymi (CEM II÷CEM V).

3.2. Kruszywa w budowie dróg

W wykonawstwie mieszanek betonowych z przeznaczeniem na nawierzchnie drogowe należy stosować kruszywa łamane, naturalne płukane o maksymalnym rozmiarze ziaren do 31,5 mm. Kruszywo stosowane w budowie dróg powinno spełniać wymagania normy PN-EN 12620+A1:2010 [10]. W wykonawstwie betonu płukanego należy stosować kruszywo o uziarnieniu do 8 mm. Zalecane uziarnienie mieszanki kruszyw pokazano w tabeli 4 [9]. Więcej informacji zawierają pozycje [9, 11].

3.3. Domieszki i dodatki mineralne

Domieszki muszą spełniać wymagania aktualnych norm, tj. PN-EN 934-1 i PN-EN 934-2. Konieczne jest stosowanie domieszek napowietrzających mieszanek betonową – podstawa odporności betonu na działanie mrozu. Wymagany stopień napowietrzenia pokazano w tabeli 5. Stosowanie domieszek uplastyczniających (plastyfikatory) i upłynniających powinno wynikać z uwarunkowań technologicznych prawidłowego wykonania nawierzchni.

Do betonu można dodawać dodatki typu I i II określone w normie PN-EN 206-1:2003 [3]. Nie dopuszczalne jest jednakże doliczanie ilości dodatku do minimalnej ilości cementu w danej klasie ekspozycji i do współczynnika woda/cement (w/c).

4. Wymagania dla betonu

4.1. Mieszanka betonowa

Konsystencja mieszanki betonowej powinna pozwalać na właściwy jej transport, układanie i zagęszczanie. Efektywny wskaźnik w/c nie powinien

Maksymalna średnica ziaren kruszywa, [mm]	Zawartość powietrza w mieszance betonowej, [% obj.]					
	bez domieszki upłynniającej lub uplastyczniającej			z domieszką upłynniająca i/lub uplastyczniająca		
	średnia dzienna	maksymalna	minimalna	średnia dzienna	maksymalna	minimalna
8	5,5	6,0	5,0	6,5	7,0	6,0
16	4,5	5,0	4,0	5,5	6,0	5,0
31,5	4,0	4,5	3,5	5,0	5,5	4,5

Tabela 6. Wymagana zawartość powietrza w mieszance betonowej

być wyższy niż 0,45. Bardzo istotną właściwością jest odpowiednie napowietrzenie mieszanki betonowej (tabela 5) [9]. Efektywność napowietrzenia powinna być potwierdzona właściwą mikrostrukturą porów w stwardniałym betonie (tabela 6) [9]. Bardzo istotną operacją technologiczną jest właściwa pielęgnacja betonu. Metody i środki pielęgnacji betonu są szeroko opisane w pracy [12]. Niejednokrotnie jest to operacja technologiczna decydująca o jakości i trwałości nawierzchni betonowej.

4.2. Stwardniały beton

Stwardniały beton w nawierzchni drogowej powinien spełniać wymagania zawarte w tabeli 6 [9].

5. Podsumowanie

Beton jest nowoczesnym i konkurencyjnym wobec asfaltu materiałem do wykonywania nawierzchni dróg. Jest także najczęściej stosowanym materiałem w budowie innych obiektów infrastruktury komunikacyjnej (mosty, wiadukty, tunele, przepusty, itp.). W kraju jest wystarczająca ilość odpowiedniej jakości surowców (cementy, kruszywa) do wykonania wysokiej jakości nawierzchni betonowych dla każdej kategorii ruchu. Z betonu mogą być budowane zarówno najbardziej nowoczesne autostrady i mosty jak i trwałe drogi lokalne.

Danuta Bebfacz
Instytut Badawczy Dróg i Mostów w Warszawie
Zbigniew Giergiczyński
Politechnika Śląska w Gliwicach
Centrum Technologiczne Betotech sp. z o.o.
w Dąbrowie Górniczej

Literatura

- 1 J. Halm, E. Bohlmann, *Betonowe nawierzchnie drogowe – kierunki badań, praktyka, najnowsze osiągnięcia*, V Międzynarodowa Konferencja „Trwałe i bezpieczne nawierzchnie drogowe”, Kielce 1999
- 2 A. Szydło, *Nawierzchnie drogowe z betonu cementowego*, Polski Cement Sp. z o.o., Kraków 2004
- 3 PN-EN 206-1:2003 [3] *Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność*
- 4 P. Boss, Z. Giergiczyński, *Testing the frost resistance of concrete with different cement types – experience from laboratory and practice*, *Architecture, Civil Engineering, Environment*, vol. 3, No. 2, 2010, pp.41-52
- 5 Z. Rusin, *Technologia betonów mrozoodpornych*, Polski Cement, Kraków 2002
- 6 PN-EN 197-1:2002 *Cement. Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku*
- 7 PN-B-19707:2003 *Cement. Cement specjalny. Skład, wymagania i kryteria zgodności*
- 8 *Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie* (Dz. U. nr 63/2000, poz. 735)
- 9 WT-6 „Wymagania techniczne. Nawierzchnie betonowe. Etap III”, IBDiM Warszawa 2010
- 10 PN-EN 12620+A1:2010 *Kruszywa do betonu*
- 11 *Katalog typowych nawierzchni sztywnych*, Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych, Warszawa 2001
- P. Wojciechowski, A. Chuda, *Metody i środki pielęgnacji betonu*, XXV Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, Szczyrk, 10-13 marca 2010, s. 409÷451

Tabela 7. Wymagania dla betonu stwardniałego [9]

Lp.	Właściwość stwardniałego betonu drogowego	Wymagania
1	Klasa wytrzymałości na ściskanie wg PN-EN 206-1, nie niższa niż: • dla kategorii ruchu KR1÷KR3 • dla kategorii ruchu KR4÷KR6	C 30/37 C35/45
2	Klasa wytrzymałości na zginanie wg PN-EN 13877-1, nie niższa niż: • dla kategorii ruchu KR1÷KR3 • dla kategorii ruchu KR4÷KR6	F 4,5 F 5,5
3	Klasa wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu wg PN-EN 13877-1, nie niższa niż: • dla kategorii ruchu KR1÷KR3 • dla kategorii ruchu KR4÷KR6	S 3,3 S 4,0
4	Kategoria mrozoodporności wg PN-EN 13877-2, nie niższa niż	FT 2*
5	Stopień mrozoodporności, nie niższy niż	F 200
6	Struktura porów w stwardniałym betonie: • zawartość mikroporów o średnicy ≤ 0,3 mm (A_{300}), % • wskaźnik rozmieszczenia porów L, mm	≥1,5 ≤ 0,200

* – beton można zakwalifikować do stopnia mrozoodporności FT2, jeżeli:

- ubytek masy po 28 cyklach badawczych nie przekracza 0,5 kg/m²
- ubytek masy po 56 cyklach badawczych nie przekracza 1,0 kg/m², przy czym pojedynczy wynik nie powinien być większy niż 1,5 kg/m²
- stopień ubytku masy m_{56}/m_{28} jest mniejszy 2