

Widmo nasiąkliwości

Pora już położyć kres niekończącym się dyskusjom o nasiąkliwości betonu w obiektach komunikacyjnych. Zbyt często ograniczenie nasiąkliwości do 4% okazuje się nierealne w praktyce, pomimo wysokiej jakości materiałów i procesu produkcji betonu.

Zbyt dużą wagę decyzyjną przypisuje się tej „właściwości”. Postulaty o konieczności nowelizacji odpowiednich zarządzeń administracji państwowej były i nadal są często formułowane. Czy rozporządzenie administracji państwowej powinno szczegółowo określać składniki i właściwości betonu czy raczej odwoływać się do norm technicznych ustanowionych przez środowisko profesjonalistów – konstruktorów i technologów betonu? Oto propozycje w tej sprawie.

1. Stan techniki i wiedzy

Na budowach zdarzają się sytuacje sporne i czasem dotyczą jakości wbudowanego betonu. W przypadku budowy betonowych obiektów inżynierskich zasadniczym powodem sporów nie była wytrzymałość betonu, lecz nasiąkliwość, mrozoodporność i niekiedy nadmierne zarysowania. Wyniki badań kontrolnych próbek betonu, na których określa się mrozoodporność (F150), znane są dopiero po upływie około 3 miesięcy od ich wykonania, a zatem w terminie zbliżonym do terminu zakończenia budowy. Nadzór, wraz z projektantem, wykonawcą i producentami betonu, przystępuje do szczegółowego wyjaśnienia przyczyn i wagi niedostatecznej mrozoodporności czy nadmiernej nasiąkliwości betonu. Nierzadko nawet przed zakończeniem badań diagnostycznych wykonawca pokrywa ekspozowane elementy obiektu powłoką żywiczną. Obiekt zostaje odebrany i oddany do użytkowania. Koniec sporu, ale nie koniec problemu, bowiem analogiczna sytuacja powtarza się na kolejnych budowach.

Problem tkwi w słabości definicji nasiąkliwości i mrozoodporności oraz niedoskonałości procedur badawczych służących do ich określania, tj. według PN-88/B-06250. Powszechnie przyjęte w Polsce kryteria oceny wyników tych badań też wymagają refleksji. Znane są publikacje wnikliwie dotykające zagadnień metodycznych, publiczna dyskusja kryteriów jest natomiast znacznie uboższa. Jako początek tzw. sprawy nasiąkliwości można wskazać rok 1995 – niepowodzenia przy budowie mostu w Grabowcu i publikacja prof. Kazimierza Flagi [1]; spośród publikacji zagranicznych istotne było podsumowanie stanu wiedzy przez Wilsona, Cartera i Hoffa w 1999 roku [2]. W ostatniej

dekadzie, na podstawie normy EN 197-1: 1997, nastąpiła poważna zmiana profilu produkcji cementu powszechnego użytku, radykalnie zmniejszył się udział cementów czystoklinkierowych, niskoalkalicznych czy o niskiej zawartości C₃A. Jednocześnie nastąpiło upowszechnienie stosowania domieszek chemicznych, dostępnych w wielkiej różnorodności, a także dodatków mineralnych do betonu. Jak pokazują doświadczenia, skutki stosowania różnych dodatków i domieszek są nieraz sprzeczne, np. podwyższeniu szczelności towarzyszy obniżenie odporności na agresję mrozu. Dlatego obok tzw. sprawy nasiąkliwości pojawia się coraz częściej tzw. sprawa mrozoodporności.

Stosowane techniczne dokumenty odniesienia, dotyczące nasiąkliwości i mrozoodporności betonu, zestawione są w tabelicy 1. Obok powszechnie znanych norm i rozporządzeń krajowych wymieniono nowe dokumenty CEN, które będą wykorzystane w toku dalszych rozważań.

2. Kłopotliwa interpretacja wyników badań

Przy ocenie wyników kontrolnego badania mrozoodporności i nasiąkliwości pojawiają się zawsze wątpliwości związane z wymiarami próbek, bowiem stosuje się zarówno kostki 100 mm, jak też kostki 150 mm, a przy diagnostyce próbki-odwierty 100 lub 150 mm. Nierzadko na próbkach o różnych wymiarach otrzymuje się sprzeczne wyniki i pojawia się pytanie, czy może w próbkach większych woda w części środkowej wcale nie zamarza. Takie hipotezy stawia się w przypadku betonu z dodatkiem pyłu krzemionkowego. Wzrost wytrzymałości próbek-świadków przechowywanych w wodzie przez okres odpowiadający 150 cyklom zamrażania i rozmrażania próbek właściwych wywołuje kolejne wątpliwości. Przy znacznym wzroście wytrzymałości próbek-świadków w czasie i nieznacznie zmniejszonej wytrzymałości próbek zamrażanych i rozmrażanych ocena mrozoodporności na podstawie ilorazu wytrzymałości może być negatywna, czyli $f_{c(150 F/T)} / f_{c(\text{świadki})} < 0,80$. Producenti betonu twierdzą wówczas, że ponoszą karę za dostarczenie zbyt dobrego betonu. W przypadkach stosowania cementów mieszanych, charakteryzowanych przedłużonym okresem narastania wytrzymałości, krytycznym elementem procedury oceny mrozoodporności okazuje się termin rozpoczęcia cyklicznego zamrażania i rozmrażania (stopień hydratacji po 28-dniowym dojrzewaniu jest znacznie mniejszy niż w cemencie CEM I). Na szczęście automatyczne komory klimatyczne do badań mrozoodporności są już rozpowszechnione i wyeliminowane zostały czynności manualne, dawniej prowokujące kolejne wątpliwości.

W laboratoryjnej praktyce określania nasiąkliwości próbek betonu brak jednoznaczności normowego kryterium zakończenia badań (zmiana masy próbki < dokładność wagi = 0,2%) powoduje, że czas badania jest skracany, aby badanie nie ciągnęło się tygodniami. Niektóre laboratoria wprowadzają już do stosowania zaostrzone kryterium według PN-

Tablica 1 Dokumenty odniesienia PKN, CEN oraz resortowe dotyczące nasiąkliwości i mrozoodporności betonu

Parametr	Nasiąkliwość	Mrozoodporność
Metoda	PN-88/B-06250 p.6.4 PN-EN 13369:2005 p.5.1.2	PN-88/B-06250 p.6.5 PKN-CEN/TS 12390-9:2006 CEN/TR 15177:2006
Kryteria	PN-88/B-06250 p.5.2 PN-S 10040:1999 p.2.1 Rozporządzenie MTiGM nr 735 z 30.05.2000	PN-88/B-06250 p.5.3 PN-S 10040:1999 p.2.1 PN-EN 13877-2:2007 p.4.5 Rozporządzenie MTiGM nr 735 z 30.05.2000

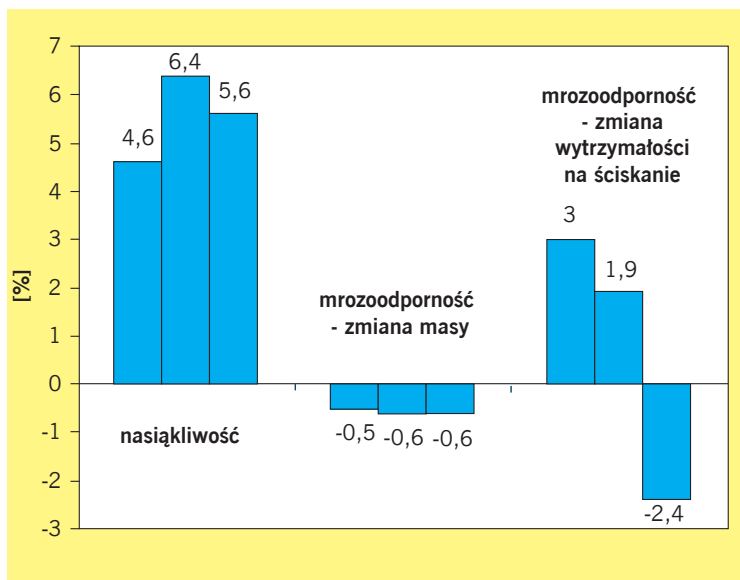
EN 13369:2005, czyli zmiana masy <0,1% (nie wprowadzając innych zapisów tej normy). Wyniki oznaczeń nasiąkliwości w różnych laboratoriach nie zawsze są więc porównywalne. Znaczenie parametru nasiąkliwości betonu i możliwości projektowania betonu o określonej nasiąkliwości były przedmiotem wspomnianej publikacji K. Flagi i ostatnio [3]. Temat jest więc dość powszechnie znany. W tym komentarzu pragnę jedynie zwrócić uwagę na istotność wyboru kryterium dopuszczalnej nasiąkliwości: 4% lub 5% – ma to nieraz kluczowe znaczenie dla wykonawcy robót (i dostawcy betonu), bowiem z tego powodu wynikają potrącenia należnego wynagrodzenia, wskutek stwierdzenia „wady trwałej”. Intrigująca sytuacja powstaje w przypadku pozytywnych wyników badania mrozoodporności i zawyżonej nasiąkliwości (przykład przedstawia rys. 1). Czasami kryterium właściwej mrozoodporności uznaje się za dominujące i pomija się zawyżoną nasiąkliwość. Nie jest to wszakże reguła.

Nierzadko zdarza się inna sytuacja: pomimo dobrych wyników badania nasiąkliwości, mrozoodporność jest zupełnie niedostateczna. Przykład podany na rys. 2 zachęcający został z niepublikowanego raportu dotyczącego obiektu nad autostradą A-2 [5]. Pomimo pewnych rozbieżności wyników uzyskanych w tym przypadku w różnych laboratoriach, stwierdzony spadek wytrzymałości na ściskanie po normowych 150 cyklach zamrażania i rozmrażania dyskryminuje trwałość betonu pomimo niskiej nasiąkliwości.

Pomimo wprowadzenia klas ekspozycji w normie PN-EN 206-1:2003 nadal krajową praktykę charakteryzuje traktowanie nasiąkliwości i mrozoodporności F150 jako uniwersalnych parametrów trwałości betonu narażonego na różne warunki środowiska. Jest to zbyt duże uproszczenie, zwłaszcza przy powszechnym stosowaniu soli odladzających. Sięgając do przykładów zagranicznych [5], można wskazać brak jakiegokolwiek korelacji nasiąkliwości z odpornością betonu na karbonatyzację oraz na przenikanie chlorków. Jak stwierdzono, określenie porowatości otwartej nie ma związku z przepuszczalnością betonu, która jest ważniejsza z uwagi na trwałość w środowiskach agresywnych.

W niniejszych rozważaniach pominąłem zupełnie kwestię niedokładności odwzorowania rzeczywistych warunków agresji środowiskowej w metodach badania mrozoodporności, bowiem znane są publikacje na ten temat, omawiające istotność różnic zamrażania w wodzie i w powietrzu, znaczenie prędkości obniżania temperatury i oddziaływania soli odladzających.

W krajach członkowskich CEN nie ma jednoznacznie uzgodnionych poglądów na ten temat i dlatego norma podstawowa PN-EN 206-1 w odniesieniu do odporności betonu na zamrażanie/rozmrażanie w danej klasie ekspozycji nie odwołuje się do konkretnej normy czynnościowej, zalecając badanie „odpowiednią” metodą. W odróżnieniu od stosowanej w krajowym mostownictwie normy PN-S 10040:1999, w normie PN-EN 206-1 ani w jej uzupełnieniu krajowym z roku 2004, dotyczących betonu o projektowanej trwałości do 50 lat, nie sformułowano bezpośrednich wymagań dotyczących odporności betonu na oddziaływanie mrozu,

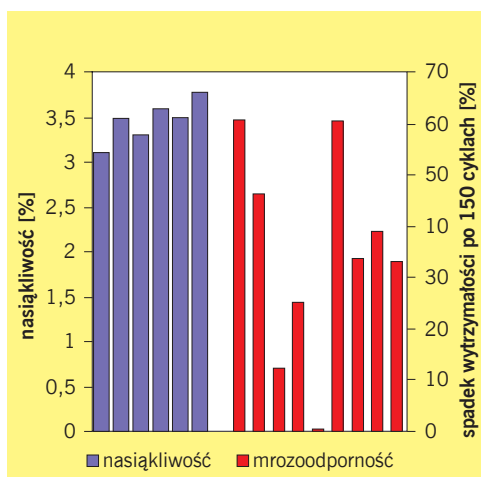


ani wymagań ograniczonej nasiąkliwości. Niestety aktualny stan normalizacji, nawet po włączeniu się Polski do CEN, nie odpowiada jeszcze potrzebom przemysłu budowlanego.

3. Niekonwencjonalne specyfikacje

Szczegółowe specyfikacje dotyczące betonu mogą być sformułowane przez projektanta w sposób szczególny, wynikający z wnikliwych analiz konkretnego obiektu inżynierskiego. Powszechnie SST zawierają fragmenty skopiowane z tzw. Ogólnych Specyfikacji Technicznych, włączając kłopotliwe określenia nasiąkliwości i mrozoodporności. Zdarza się wszakże, że SST dotyczące betonu w obiektach są zupełnie niekonwencjonalne i stanowią załącznik do kontraktu powodując kolejne kłopoty dla uczestników procesu budowlanego, a najbardziej dla dostawcy betonu. Przykład taki stanowi m.in. specyfikacja z roku 2006 dotycząca budowy nowego mostu o długości 1038,2 m przez Wisłę. W części SST dotyczącej płyty mostu z betonu B40 wymieniono, oprócz wymagań tradycyjnych parametrów jakości betonu, następujące metody badawcze i kryteria:

- badanie przepuszczalności jonów chlorku według AASHTO T277-831
- badanie współczynnika oporu dyfuzyjnego dwutlenku węgla
- badanie postępu karbonatyzacji metodą przyspieszoną



Rys. 1. Zestawienie wyników badania nasiąkliwości i mrozoodporności F 200 betonu samozagęszczalnego stosowanego do remontu zapory wodnej (3 serie badań), [4]

Rys. 2. Zestawienie wyników badania nasiąkliwości i mrozoodporności F 150 betonu stosowanego w ustroju nośnym obiektu nad autostradą (badania w różnych laboratoriach) [5]

d) badanie ekspansji ograniczonej (skrępowanej) według ASTM C 878

e) badanie rozwoju korozji zbrojenia według ASTM G109.

Metody badawcze dotyczą wybranych aspektów trwałości betonu i zbrojenia oraz stabilności wymiarowej elementów betonowych. Trzy spośród wymienionych metod określone są na podstawie amerykańskich norm ASTM oraz dokumentu AASHTO, natomiast w odniesieniu do dwóch pozostałych nie podano żadnych dokumentów odniesienia.

Wymaganie określonej odporności betonu na wnikanie chlorków jest bardzo pożądane, aby zapewnić ochronę zbrojenia stalowego przed korozją. Metoda badania przepuszczalności jonów chlorkowych przez beton według AASHTO T277 (odpowiednik ASTM C 1202) była jednak wielokrotnie krytykowana, bowiem nie odzwierciedla właściwie realnych oddziaływań na beton w konstrukcji. Jest to tzw. szybki test penetracji chlorków (ang. Rapid Chloride Penetration Test, RCPT); mówi się, że w tej nazwie tylko słowo „szybki” jest prawdziwe. Pomiar nie dotyczy przepuszczalności betonu, ale jego oporności elektrycznej: opór oblicza się jako iloraz napięcia i natężenia prądu elektrycznego przepływającego przez próbkę betonu. Pomimo tych zastrzeżeń i innych ograniczeń, metoda jest rozpowszechniona w USA. W krajach europejskich stosuje się inną metodę określania przepuszczalności jonów chlorkowych – na podstawie pozornego współczynnika migracji jonów według normy skandynawskiej NT Build 492, używanej też w niektórych laboratoriach krajowych.

Metoda badania według normy ASTM C 878 dotyczy określania ekspansji betonu w przypadku stosowania cementu ekspansyjnego (cementu o skompensowanym skurczu). Stosowanie cementu ekspansyjnego do betonowania pomostów nie jest rozpowszechnione; można przypuszczać, że w celu minimalizacji zagrożenia powstania rys projektant założył takie rozwiązanie technologiczne, wykluczając inne możliwe rozwiązania techniczne. Metoda badania rozwoju korozji zbrojenia według ASTM G109 ma zastosowanie do określania efektów domieszek chemicznych na korozję stali w betonie. Wykorzystuje się ją przede wszystkim do oceny efektywności inhibitorów korozji; za wymaganiem kryje się więc postulat użycia konkretnego rodzaju domieszek do betonu.

Stanowisko do badania wodoszczelności betonu



Metody badania tzw. oporu dyfuzyjnego dwutlenku węgla oraz tzw. przyspieszonego postępu karbonatyzacji nie są ujęte powszechnie znanymi normami technicznymi. Jak wiadomo [7], opór dyfuzyjny względem dwutlenku węgla określa się w odniesieniu do powłok ochronnych betonowych konstrukcji mostowych, zgodnie z zasadami udzielania aprobat technicznych. Trudno się powstrzymać od skojarzenia, że proponowane dodatkowe wymagania narzucają konieczność stosowania konkretnych wyrobów chemii budowlanej. Ponadto bezpośrednia przydatność kryteriów amerykańskich, bez krajowych badań weryfikacyjnych, jest wątpliwa, choćby z powodu znaczących różnic między właściwościami cementów amerykańskich i europejskich, stosowania innych gatunków stali zbrojeniowej czy innych urządzeń do wykonania i wbudowywania mieszanki betonowej.

W innym przypadku SST, dotyczących betonu w obiektach mostowych, zapisano, że „Trwałość betonów określona jest stałością określonych właściwości w obecności czynników wywołujących degradację. Próba trwałości jest wykonywana przez poddanie próbek 150 cyklom zamrażania i rozmrażania. Zmiany właściwości w wyniku tej próby powinny znaleźć się w podanych niżej granicach: zmniejszenie modułu sprężystości 20%, utrata masy 2%, rozszerzalność liniowa 2%, współczynnik przepuszczalności do 9 przed cyklami zamrażania 10 cm/sek, 8 po cyklach zamrażania 10 cm/sek”. Trwałość utożsamiono zatem z odpornością na cykliczne oddziaływanie mrozu, z tym że postuluje się ocenę tej odporności na podstawie 5 parametrów. Oczywiście pomyłka w druku dotyczy współczynnika przepuszczalności: przed cyklami zamrażania (czyli w wieku 28 dni) 10^{-9} cm/sek = 10^{-11} m/s; po 150 cyklach zamrażania 10^{-8} cm/sek = 10^{-10} m/s (oznacza to dopuszczalne obniżenie szczelności o 1 rząd wielkości). To właśnie wymaganie dotyczy przepuszczalności wody pod określonym ciśnieniem przez beton; w określonym czasie próbkę betonu poddaje się ciśnieniu hydrostatycznemu i po jej rozłupaniu określa głębokość penetracji wody, na podstawie głębokości penetracji wody określa się współczynnik przepuszczalności (w m/s); metoda przydatna do betonów szczelnych, nie jest standaryzowana [8]. Jak widać w specyfikacjach, pojawiają się tendencje formułowania dodatkowych wymagań, niekiedy egzotycznych, aczkolwiek odzwierciedlających pewien ważny kierunek – definiowania nowych parametrów trwałości betonu w konkretnych środowiskach agresywnych. Jest to zrozumiałe, trudno bowiem budować z nowych materiałów, posługując się niezmiennie metodami badań i kryteriami sprzed ćwierćwiecza.

4. Konkluzje

Aby spokojnie i skutecznie budować, współczesny przemysł betonowy potrzebuje lepszych dokumentów normalizacyjnych. Zarówno potencjał intelektualny środowiska, jak też potrzeby przyspieszonego rozwoju kraju uzasadniają podjęcie konkretnych działań, nie czekając na nowe normy CEN, które zresztą będą wymagać krajowych arkuszy aplikacyjnych. Konkretnym krokiem byłyby międzylaboratoryjne badania porównawcze, angażujące zarówno krajowe laboratoria akredytowane, jak też laboratoria drogowe

GDDKiA. Poniżej podano propozycję zakresu potrzebnych badań. W tzw. sprawie nasiąkliwości można postąpić wybierając jeden z trzech kierunków:

- zmienić kryterium 4% na 5%, pozostawiając metodę określania nasiąkliwości bez zmian
- wprowadzić metodę badania według normy na prefabrykaty PN-EN 13369:2005, natomiast kryteria zweryfikować na podstawie badań międzylaboratoryjnych
- zrezygnować całkowicie z kryterium dopuszczalnej nasiąkliwości, niestosowanej w krajach rozwiniętych, i wprowadzić nowe wymagania w zależności od klasy ekspozycji, np.

XD – współczynnik migracji chlorków wg skandynawskiej normy NT Build 492

XC – współczynnik gazoprzepuszczalności wg szwajcarskiej normy SN 505-262/1:2003

XF – zmiana modułu sprężystości według CEN/TR 15177:2006, masa złuszczeń powierzchniowych według PKN-CEN/TS 12390-9:2006, rozmieszczenie porów wg PN-EN 480-11:2000, przy czym kryteria należałoby opracować na podstawie krajowych badań międzylaboratoryjnych, wykorzystując normę austriacką ÖNORM B 4710-1:2002, duńską DS 2426:2004 i wytyczne niemieckie ZTV Beton – StB 01.

Jeśli chodzi o wymagania mrozoodporności, to możliwe są następujące scenariusze:

- nie zmieniać kryterium F150, ewentualnie zastąpić je ostrzejszym wymaganiem, np. F200
- naśladując normę LST 1974:2005, wprowadzając EN 206-1 w obszar budownictwa drogowo-mostowego na Litwie, wprowadzić zmodyfikowaną definicję mrozoodporności:

$$\Delta f_c = f_c^{N_{\text{cykl}}} / f_{c28}$$

w której $f_c^{N_{\text{cykl}}}$ oznacza wytrzymałość na ściskanie po N cyklach zamrażania i rozmrażania (przy XF4 – min $N_{\text{cykl}} = 300$), f_{c28} – wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach; w wyniku badań międzylaboratoryjnych zweryfikować kryterium $\Delta f_c \leq 5\%$ stosowane na Litwie

- w zależności od klasy ekspozycji XF2, XF3 czy XF4 wprowadzić określenie zmiany modułu sprężystości, masy złuszczeń powierzchniowych, rozmieszczenia porów w betonie, jak zaproponowano powyżej w punkcie (c); kryteria wg normy austriackiej ÖNORM B 4710-1, duńskiej DS 2426 lub wytycznych niemieckich ZTV Beton – StB 01 należałoby zweryfikować w krajowych badaniach międzylaboratoryjnych.

Oczywiście przy wyborze kierunku minimalnych zmian w obowiązujących dokumentach odniesienia, czyli wariantu (a) + (a), badania międzylaboratoryjne nie będą potrzebne. Dobrych, nowych wymagań normowych nie da się natomiast napisać z głową.

doc. dr hab. inż. Michał A. Glinicki
IPPT PAN Warszawa

Prace cytowane

- K. Flaga, Szczególne wymagania stawiane betonem konstrukcyjnym w mostownictwie, XV Konferencja „Beton i prefabrykacja”, Jadwisin 1995, 105-115
- M. A. Wilson, M. A. Carter and W. D. Hoff, British Standard and RILEM water absorption tests: A critical evaluation, *Materials and Structures*, Vol. 32, October 1999, 571-578

- K. Flaga, M. Bogacka, P. Maliszewicz, Cechy trwałościowe betonów mostowych na przykładzie obiektów mostowych autostrady A2 na odcinku Konin – Koło – Dąbie, V Konferencja Naukowo-Techniczna MAT-BUD'2007, Kraków, 20-22 czerwca 2007, 117-131
- T. Tracz, S. Kańska, W. Radło, Betonowanie podwodne betonem samozagęszczalnym jako jeden z etapów remontu zapory w Porąbce, Konferencja „Dni betonu”, Wisła 2006, 1187-1198
- K. Germaniuk, M. A. Glinicki, T. Gajda, A. Sakowski, Badania i ocena jakości betonu wbudowanego w ustrój nośny obiektu nad autostradą A-2, IBDiM, listopad 2006 (raport niepublikowany)
- G. De Schutter, K. Audenaert, Evaluation of water absorption of concrete as a measure for resistance against carbonation and chloride migration, *Materials and Structures*, Vol. 37, November 2004, 591-596
- L. Czarnecki, Materiały do ochrony powierzchniowej konstrukcji z betonu, XVII Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Ustroń, 20-23 lutego 2002, s. 22
- P. B. Bamforth, The relationship between permeability coefficients for concrete obtained using liquid and gas, *Magazine of Concrete Research*, 39(138), March 1987, 3-11

Dokumenty odniesienia

- CEN/TR 15177:2006 Testing the freeze-thaw resistance of concrete. Internal structural damage
- DS 2426:2004 Beton – Materialer – Regler for anvendelse af EN 206-1 i Danmark
- LST 1974:2005 Nurodymai, kaip taikyti LST EN 206-1 Betonas. 1 dalis. Techniniai reikalavimai, savybis, gamba ir atitiktis
- NT Build 492:1999 Concrete, mortar and cement-based repair materials: Chloride migration coefficient from non-steady-state migration experiments
- ÖNORM B 4710-1:2002 Beton – Teil 1: Festlegung, Herstellung, Verwendung und Konformitätsnachweis (Regeln zur Umsetzung der ÖNORM EN 206-1)
- PKN-CEN/TS 12390-9:2006 Testing hardened concrete – Part 9: Freeze-thaw resistance – Scaling
- PN-EN 206-1: 2003 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja, zgodność
- PN-EN 480-11: 2000 Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu. Oznaczanie charakterystyki porów powietrznych w stwardniałym betonie
- PN-EN 13369:2005 Wspólne wymagania dla prefabrykatów z betonu
- PN-EN 13877-2:2007 Nawierzchnie betonowe. Część 2: Wymagania funkcjonalne dla nawierzchni betonowych
- PN-S 10040:1999 Obiekty mostowe; Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone; Wymagania i badania Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie (Dz.U. nr 63, poz. 735 z 2000 r.)
- SN 505-262/1: 2004 Norme Suisse: Construction en béton – Spécifications complémentaires, Annexe E: Perméabilité à l'air dans les structures
- ZTV Beton – StB 01 Bundesministerium für Verkehr, Abteilung Straßenbau, Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton, Ausgabe 2001, FGSV Verlag, Köln 2001, s. 80