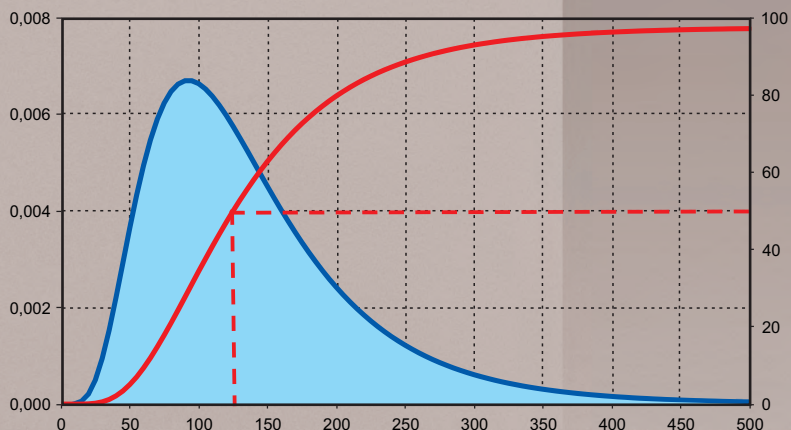


MONOGRAFIE, STUDIA, ROZPRAWY

M92

Jerzy Wawrzeńczyk

METODY BADANIA I PROGNOZOWANIA MROZODPORNOŚCI BETONU



Politechnika Świętokrzyska

Kielce 2017

MONOGRAFIE, STUDIA, ROZPRAWY

M92

Jerzy Wawrzeni

**METODY BADANIA I PROGNOZOWANIA
MROZOODPORNOŚCI BETONU**

Kielce 2017

MONOGRAFIE, STUDIA, ROZPRAWY NR M92

Redaktor Naukowy serii

NAUKI TECHNICZNE – BUDOWNICTWO

dr hab. inż. Jerzy WAWRZEŃCZYK, prof. PŚk

Recenzenci

prof. dr hab. inż. Józef JASICZAK

prof. dr hab. inż. Janusz SZWABOWSKI

Redakcja

Irena PRZEORSKA-IMIOŁEK

Projekt okładki

Tadeusz UBERMAN

© Copyright by Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2017

Wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część tej pracy nie może być powielana czy rozpowszechniana w jakiegokolwiek formie, w jakikolwiek sposób: elektroniczny bądź mechaniczny, włącznie z fotokopiowaniem, nagrywaniem na taśmy lub przy użyciu innych systemów, bez pisemnej zgody wydawcy.

PL ISSN 1897-2691

PL ISBN 978-83-65719-13-3

Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej

25-314 Kielce, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7

tel./fax 41 34 24 581

e-mail: wydawca@tu.kielce.pl

www.wydawnictwo.tu.kielce.pl

Wprowadzenie	7
1. KONCEPCJE OCENY MROZOODPORNOŚCI BETONU	11
1.1. Kamienie milowe w rozwoju technologii betonu	11
1.2. Koncepcja czasu użytkowania jako miara trwałości betonu w konstrukcji	15
1.3. Mrozoodporność betonu w ujęciu normy PN-EN 206-1	17
1.3.1. Nowelizacja normy PN-EN 206	20
1.3.2. Koncepcja współczynnika k	21
1.3.3. Koncepcja równoważnych właściwości użytkowych (ECPC)	22
1.4. Bariery związane ze skutecznością testów laboratoryjnych	24
1.5. Projektowanie konstrukcji betonowej ze względu na trwałość	24
1.5.1. Podejście normatywne	25
1.5.2. Projektowanie oparte na koncepcji użyteczności	26
1.5.3. Doświadczenia różnych krajów	30
1.6. Prognozowanie mrozoodporności betonu	32
1.6.1. Projektowanie mrozoodpornych konstrukcji betonowych według Model Code 2010	32
1.6.2. Prognozowanie mrozoodporności konstrukcji mostowych – przykład fiński	34
1.6.3. Przykłady zastosowania koncepcji krytycznego stopnia nasycenia w analizie mrozoodporności konstrukcji betonowych	36
1.6.4. Przykłady zastosowania podejścia probabilistycznego w analizie zniszczenia mrozowego	37
1.7. Koncepcja krytycznego stopnia nasycenia	39
1.7.1. Krytyczny stopień nasycenia betonu	40
1.7.2. Krytyczny stopień nasycenia a mrozoodporność betonu	41
1.8. Koncepcja krytycznego rozstawu pęcherzyków powietrznych	43
Literatura	49
2. CHARAKTERYSTYKI POROWATOŚCI JAKO CZYNNIKI MROZOODPORNOŚCI BETONU	55
2.1. Wprowadzenie	55
2.2. Porowatość zaczynu cementowego	57
2.3. Charakterystyka porowatości betonu	61
2.3.1. Porowatość całkowita	62
2.3.2. Nasiąkliwość	62
2.3.3. Przepuszczalność	66

2.3.4. Sorpcyjność i podciąganie kapilarne	69
2.3.5. Badanie sorpcji (desorpcji)	71
2.4. Wpływ dodatków mineralnych na porowatość betonu	74
2.4.1. Porowatość zaczynu z dodatkami mineralnymi	74
2.4.2. Wpływ dodatków mineralnych na szczelność struktury betonu	77
2.4.3. Nasiąkliwość a przepuszczalność betonu	79
2.5. Strefa przejściowa kruszywo-zaczyn	80
2.5.1. Wpływ kruszywa na jakość strefy przejściowej	82
2.6. Warstwa powierzchniowa betonu	85
Literatura	86
3. METODYKA BADANIA MROZOODPORNOSTCI BETONU	92
3.1. Zarys teorii niszczenia mrozowego betonu	92
3.2. Metody badania odporności betonu na powierzchniowe łuszczenie	101
3.2.1. Metody ujęte w normie PKN-CEN/TS 12390-9	103
3.2.2. Metoda ASTM C672	109
3.3. Metody badania odporności betonu na wewnętrzne pękanie	110
3.3.1. Ocena stopnia mrozoodporności według PN-88/B-06250	112
3.3.2. Metody ujęte w normie CEN/TR 15177	113
3.3.3. Metoda ASTM C666	118
3.3.4. Metoda ASTM C671 (metoda Powersa)	120
3.4. Krytyczna ocena metod badania mrozoodporności	122
Literatura	134
4. WYNIKI BADAŃ MROZOODPORNOSTCI BETONU PRZY UŻYCIU	
WYBRANYCH METOD	139
4.1. Odporność betonu na powierzchniowe łuszczenie	139
4.1.1. Metoda CDF	139
4.1.2. Metoda płytkowa (Boras)	145
4.1.3. Odporność betonu napowietrzonego za pomocą mikrosfer polimerowych	151
4.1.4. Poprawa mrozoodporności betonu poprzez zastosowanie tkaniny półprzepuszczalnej	151
4.2. Odporność betonu na wewnętrzne pękanie	154
4.2.1. Mrozoodporność betonu zamrażanego w powietrzu	154
4.2.2. Mrozoodporność betonu zamrażanego w wodzie	158
4.2.3. Mrozoodporność betonów mostowych BWW	164
4.2.4. Przyrost masy próbek jako wskaźnik uszkodzenia mrozowego	173
Literatura	178

5. KONTROLA JAKOŚCI NAPOWIETRZENIA BETONU	182
5.1. Ogólna charakterystyka napowietrzenia	182
5.2. Problemy ze stabilnością powietrza	184
5.3. Metodyka badania struktury porów powietrznych	191
5.3.1. Podstawy analizy mikroskopowej	191
5.3.2. Przygotowanie próbek-zgładów do badań mikroskopowych	199
5.3.3. Trudności spotykane w pomiarach mikroskopowych	201
5.3.4. Ocena dokładności pomiarów mikroskopowych	203
5.4. Relacje pomiędzy parametrami napowietrzenia	207
5.5. Inne koncepcje opisu struktury porowatości betonu napowietrzonego	210
5.6. Napowietrzenie betonu za pomocą mikrosfer polimerowych	221
Literatura	227
6. PODSUMOWANIE	233
Streszczenie	237
Summary	239

STRESZCZENIE

Metody badania i prognozowania mrozoodporności betonu

Celem opracowania niniejszej monografii było przedstawienie oraz krytyczna analiza stanu wiedzy dotyczącej metodyki badania mrozoodporności oraz w perspektywie prognozowania trwałości mrozowej betonu wbudowanego w konstrukcję. Analiza obejmowała liczne źródła literatury światowej z uwzględnieniem doświadczeń własnych autora wynikających z ponad 30-letniej działalności naukowej związanej z projektowaniem i diagnostyką mrozoodporności betonu.

W pierwszej części przedstawiono w ujęciu historycznym wydarzenia o kluczowym znaczeniu dla rozwoju technologii betonu i praktyki inżynierskiej, związanych z identyfikowaniem i rozwiązywaniem kolejnych problemów wynikających z obserwacji, m.in. w USA, przypadków destrukcji mrozowej betonu w drogowych obiektach inżynierskich.

Podstawową kwestią we współczesnym pojmowaniu mrozoodporności betonu (jako składowej szerzej pojmowanej trwałości) jest stwierdzenie, że nie jest ona właściwością materiału, lecz jego zachowaniem (reakcją) na cykliczne zamrażanie i rozmrażanie w warunkach eksploatacyjnych. Jest więc wypadkową oddziaływania dwóch grup czynników i ich synergii: właściwości betonu związanych ze stanem jego struktury oraz zbioru czynników zewnętrznych, charakteryzujących oddziaływanie środowiska, o losowym charakterze. Omówiono różne koncepcje oceny mrozoodporności betonu, w tym: czasu użytkowania, podejścia normatywnego w normie PN-EN 206-1, współczynnika k i równoważnych właściwości użytkowych, krytycznego stopnia nasycenia i krytycznego rozstawu pęcherzyków powietrznych.

Tym dwóm ostatnim koncepcjom poświęcono dużo uwagi, gdyż stwarzają największe potencjalne możliwości diagnozowania oraz prognozowania mrozoodporności betonu.

Następnie omówiono charakterystyki porowatości betonu (nasiąkliwość, sorpcyjność, przepuszczalność itp.), które mogą być wykorzystane jako wskaźniki trwałości i odporności mrozowej.

W trzecim rozdziale porównano najważniejsze metody bezpośredniego zamrażania-rozmrażania próbek służące do oceny odporności betonu na wewnętrzne pękanie i powierzchniowe łuszczenie. Na podstawie danych literaturowych przedstawiono krytyczną ocenę tych metod z uwzględnieniem postulatów odnośnie kierunków dalszej modyfikacji tych testów.

W kolejnym rozdziale zamieszczono wyniki własnych badań autora z wykorzystaniem wybranych metod badawczych. Przedstawiono zasadnicze różnice wynikające ze sposobu zamrażania próbek (w powietrzu, w wodzie lub roztworze soli odładzającej) oraz obserwowane pogorszenie trwałości mrozowej betonu. Przedstawione

wyniki badań dotyczyły głównie betonów wykonanych z cementem portlandzkim CEM I oraz spoiw zawierających w swoim składzie żużel wielkopiecowy.

Przedstawiono nowe możliwości poprawy mrozoodporności betonu poprzez jego napowietrzenie za pomocą mikrosfer polimerowych lub poprawy szczelności warstwy powierzchniowej z wykorzystaniem tkaniny selektywnie przepuszczalnej.

Rozdział piąty poświęcono omówieniu stanu badań i metod stosowanych do oceny jakości napowietrzenia betonu i wyznaczania parametrów charakteryzujących system porów w betonie napowietrzonym. Przedstawiono problemy związane z niestabilnością systemu porów powietrznych oraz potencjalne możliwości ich uniknięcia poprzez zastosowanie mikrosfer polimerowych, zwłaszcza w przypadku mieszanek betonowych o dużej ciekłości typu SCC lub BWW.

S U M M A R Y

The methods of testing and predicting of concrete freeze – thaw durability

This monograph is a review and critique of current freeze-thaw resistance-related knowledge and practice used for the prediction of frost durability of concrete structures. The work reviews multiple sources of the world professional literature and includes the author's own experience gained over more than 30 years as a scientist and researcher focused on the design of freeze-thaw resistant concrete and testing of concrete in structures.

The first part of the monograph provides a timeline of concrete technology and engineering practice development, comprising key events in the worldwide history of identifying and solving problems related to the frost-induced destruction of concrete in highway engineering structures.

The basic issue in the present-day understanding of frost resistance as a component of a broader concept of concrete durability is that it is not a property of the material but rather a response to cycles of freezing and thawing under in-service conditions. Frost resistance is thus the product of the action of and the synergy between two groups of factors: concrete structural properties and external environmental impacts of random nature. The author describes various approaches to frost resistance assessment based on concrete service life, standardized approach set out in PN-EN 206-1, coefficient k and equivalent performance, critical degree of saturation and critical air void spacing factor. Special attention is shown to the last two notions having the highest potential in diagnosing and predicting frost durability of concrete.

Afterwards the author analyses the characteristics of concrete porosity (water absorption, sorption, permeability, etc.) as the indicators of concrete freeze – thaw durability. In Chapter 3 the author compares the most important methods of direct freezing and thawing of specimens, designed to assess the resistance of concrete to internal cracking and scaling. Data reported in the literature were a basis for critical analysis of these methods, which includes suggestions for the directions of their further modification.

The following chapter then highlights the results from the author's original scientific research conducted with selected methods. Fundamental differences resulting from the freezing procedure used (freezing specimens in air, in water or in deicing salt solution) are discussed together with the observed decline in concrete frost durability.

All research results shown here were obtained from the test performed on concrete specimens made with Portland cement CEM I and binders containing blast furnace slag.

A new approach has been presented to improve freeze – thaw durability using polymer microspheres or to increase tightness of the concrete surface layer using selectively permeable fabric.

Chapter 5 is devoted to the state-of-the-art research methods for assessing concrete air entrainment quality and determining the parameters that characterize the air void system in air entrained concrete. Non-stability of the air void system and the ways of preventing it via the use of polymer microspheres are further elaborated on, with special attention focused on concrete mixtures of high fluidity such as SCC or HPC.