

Aktualne postrzeganie problemów oceny mrozoodporności na podstawie charakterystyk porów powietrznych w stwardniałych betonach

Dr inż. Aneta Nowak-Michta, Politechnika Krakowska



1. Wprowadzenie

Norma PN-EN 206 [18] dla zapewnienia mrozoodporności betonu podaje wymagania w zakresie minimalnej klasy betonu, minimalnej zawartości cementu, maksymalnego wskaźnika wodno-cementowego oraz w klasach ekspozycji XF2-XF4 minimalną zawartość powietrza w mieszance betonowej na poziomie 4% (tab. 1), jednakże nie przewiduje weryfikacji mrozoodporności betonu na podstawie badań. Normy dla betonów nawierzchniowych [16, 17], nawierzchni lotniskowych [22, 24], mostów [21] oraz zaktualizowane Ogólne Specyfikacje Techniczne Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad dla betonu [29], oprócz wymagań w zakresie składu betonu, określają również metodykę badawczą oraz różnorodne kryteria oceny mrozoodporności betonów. Jednym z coraz powszechniej stosowanych kryteriów jest ocena mrozoodporności na podstawie charakterystyki porów powietrznych w stwardniałym betonie. Krajowe publikacje [5–8] wskazują na złożoność problemów wynikających z powyższych wymagań, których konsekwencją jest problem z zapewnieniem mrozoodporności w budowywanych betonach.

W artykule zamieszczono przegląd wymagań zarówno normowych, jak i zawartych w specyfikacjach technicznych dotyczących zapewnienia mrozoodporności betonów zwykłych, nawierzchniowych, mostowych oraz hydrotechnicznych, a także przedstawiono współczesne problemy związane z wymaganiami w zakresie charakterystyk porów powietrznych w stwardniałym betonie stosowanym w celu zapewnienia ich mrozoodporności.

2. Aktualne krajowe wymagania w zakresie mrozoodporności betonów

Zgodnie z obowiązującymi rozporządzeniami MTiGM z dnia 02.03.1999 [26] i z dnia 30.05.2000 [27] oraz MŚ z dnia 20.04.2007 [25] w budowywane materiały powinny spełniać wymagania polskich norm i specyfikacji. Nadzorną normą w zakresie właściwości w budowywanych betonów jest norma PN-EN 206:2014–04 Beton – Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność [18]. Dla betonów narażonych na działanie mrozu określa podane

w tabeli 1 wymagania, jednakże nie przewiduje badań mrozoodporności w budowywanych betonach.

Dla betonów nawierzchniowych rozporządzenie [26] powołuje normy: PN-EN 13877–1:2013–08 Nawierzchnie betonowe – Część 1: Materiały [16] i PN-EN 13877–2:2013–08 Nawierzchnie betonowe – Część 2: Wymagania funkcjonalne dla nawierzchni betonowych [17] oraz Specyfikacje Techniczne GDDKiA [29]. Przy projektowaniu nawierzchni lotniskowych stosowana jest wycofana norma PN-V 83002:1999 Lotniskowe nawierzchnie z betonu cementowego. Wymagania ogólne i metody badań [22] oraz projekt prNO-17-A204:2013 Lotniskowe nawierzchnie betonowe. Wymagania i metody badań nawierzchni z betonu cementowego [24].

Betonowe elementy nawierzchniowe winny spełniać wymagania norm: PN-EN 1338:2005 Betonowe kostki brukowe – Wymagania i metody badań [13], PN-EN 1339:2005 Betonowe płyty brukowe – Wymagania i metody badań [14], PN-EN 1340:2005 Krawężniki betonowe – Wymagania i metody badań [15] oraz Specyfikacji Technicznych GDDKiA [29]. Rozporządzenie MTiGM [27] w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać obiekty inżynierskie i ich usytuowanie odsyła do Specyfikacji Technicznych GDDKiA [29] oraz normy PN-S-10040:1999 Obiekty mostowe. Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Wymagania i badania [21]. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20.04.2007 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie [25] powołuje normy PN-EN 206 oraz BN-62/6738–03 Beton hydrotechniczny – Składniki betonów [2] i BN-62/6738–07 Beton hydrotechniczny – Wymagania techniczne [3], jednakże w projektowaniu i naprawach budowli hydrotechnicznych stosowany jest Projekt Normy Branżowej BN-6738 Beton Hydrotechniczny [23] oparty na normie PN 88-B-06250 Beton zwykły [12].

Zacytowane polskie normy [2, 3, 21–23] wydane zostały jeszcze przed pierwszą edycją normy PN-EN 206 [18], zatem opierają się na wymaganiach zawartych w normie PN 88-B-06250 [12]. Najbardziej aktualne są aktualizowane do końca maja każdego roku zamieszczone

Tabela 1. Wymagania dla betonów narażonych na działanie mrozu wg PN-EN 206 [18]

Właściwości	Klasa ekspozycji			
	XF1	XF2	XF3	XF4
Maksymalny stosunek wodno-cementowy	0,55	0,55	0,50	0,45
Minimalna klasa wytrzymałości	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37
Minimalna zawartość cementu [kg/m ³]	300	300	320	340
Minimalne napowietrzenie [%]	–	4,0 ¹⁾	4,0 ¹⁾	4,0 ¹⁾
Inne wymagania	Kruszywo zgodne z PN-EN 12620: 2004 o odpowiedniej odporności na zamrażanie/rozmarzanie			

1) Jeżeli beton nie jest napowietrzany, to jego mrozoodporność zaleca się badać odpowiednimi metodami, porównując z betonem, którego odporność na zamrażanie/rozmarzanie została potwierdzona w danej klasie ekspozycji

Tabela 2. Normowe metody zapewnienia mrozoodporności [2–3, 13–17, 21–24]

Rodzaj betonu	Napowietrzenie mieszanki betonowej	Mrozoodporność		Nasiąkliwość betonu	Parametry struktur porowatości
		Metoda badania	Wymaganie		
Konstrukcyjny, hydrotechniczny	XF2-XF4 ≥4,0%	–	–	–	–
Nawierzchnie drogowe	4–7%	PKN-CEN/TS EN 12390–9 PN-B-06250	FT1 XF3 FT2 XF4 F150	–	PN-EN 480–11 $A_{300} \geq 1,5\%$ $\bar{L} \leq 0,200\text{mm}$ XF4 $\bar{L} \leq 0,250\text{mm}$ XF3
Nawierzchnie lotniskowe	4,5–5,5%	PN-88-B 06250	F200	–	–
Elementy nawierzchniowe prefabrykowane	–	28 cykli metodą Boras	FT1 FT2	≤ 6%	–
Mosty, wiadukty	–	PN-88/B-06250	F100-F200	≤ 5%	–

w Dziale III Ogólne Specyfikacje Techniczne dotyczące betonu zawarte we Wzorcowych Dokumentach Kontraktowych [29].

Na podstawie analizy zacytowanych dokumentów normatywnych [2, 3, 13–17, 21–24] w tabeli 2 zestawiono normowe metody mające na celu zapewnienie mrozoodporności w poszczególnych rodzajach betonów: konstrukcyjnych, hydrotechnicznych, nawierzchni drogowych, nawierzchni lotniskowych, elementów nawierzchniowych prefabrykowanych, a także mostów i wiaduktów.

Podstawowymi parametrami kształtującymi mrozoodporną strukturę betonu są napowietrzenie oraz odpowiednio niska wartość współczynnika wodno-spoiwowego [4, 28], natomiast metody diagnozowania mrozoodporności polegają na bezpośrednim badaniu mrozoodporności (różnymi metodami [28]) lub/i oznaczaniu charakterystyki porów powietrznych. Analizując zawarte w tabeli 2 obowiązujące metody, mające na celu zapewnienie mrozoodporności obserwujemy, iż napowietrzenie mieszanki betonowej, poza elementami nawierzchniowymi prefabrykowanymi oraz mostami i wiaduktami wymagane jest we wszystkich rodzajach betonów. Badanie mrozoodporności różnymi metodami i przy różnych poziomach wymagane jest we wszystkich betonach z wyjątkiem tych, które objęte są jedynie wymaganiami normy PN-EN 206. Określony maksymalny poziom

nasiąkliwości wymagany jest w elementach nawierzchniowych prefabrykowanych oraz w mostach i wiaduktach. Jedynie w przypadku nawierzchni drogowych w Specyfikacjach Technicznych GDDKiA [29] znajduje się wymaganie dotyczące dwóch, spośród pięciu normowych parametrów charakteryzujących strukturę porów powietrznych w betonie, mianowicie zawartości mikroporów A_{300} oraz wskaźnika rozmieszczenia \bar{L} . Wymaganie to również występuje w specyfikacjach dla obiektów mostowych [6–8].

3. Metodyka oznaczania charakterystyki porów powietrznych w stwardniałym betonie

Zgodnie z aktualnie obowiązującym prawem charakterystyki porów powietrznych w stwardniałym betonie oznacza się zgodnie z normą PN-EN 480–11:2008 Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu. Metody badań. Oznaczenie charakterystyki porów powietrznych w stwardniałym betonie [19]. W Katedrze Technologii Materiałów Budowlanych i Ochrony Budowli Politechniki Krakowskiej analizy prowadzone są za pomocą spełniającego wymagania normowe [19] automatycznego systemu do analizy obrazu pustek powietrznych w stwardniałym betonie RapidAir 457 (rys. 1). W wyniku analizy dla każdej z badanych próbek stwardniałego betonu uzyskuje się sześciostronicowy raport zawierający między



Rys. 1. RapidAir 457 – aparatura do badania charakterystyki porów powietrznych w betonie

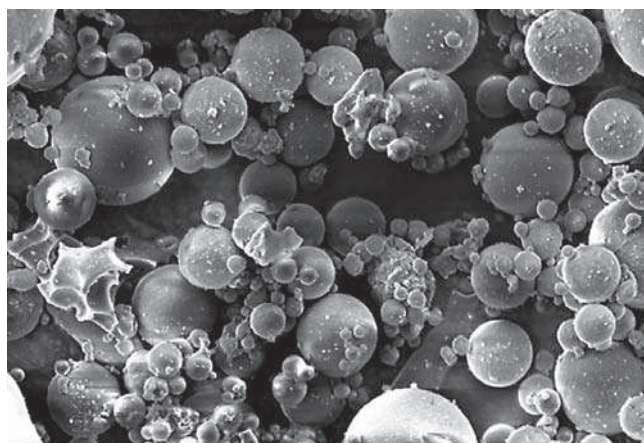
innymi pięć normowych parametrów opisujących strukturę porów powietrznych tj.:

- całkowitą zawartość powietrza A,
- powierzchnię właściwą systemu porów powietrznych α ,
- wskaźnik rozmieszczenia \bar{L} ,
- rozkład wielkości porów,
- zawartość mikroporów A_{300} .

4. Ocena mrozoodporności betonów w świetle wyników badań charakterystyk porów powietrznych w stwardniałych betonach

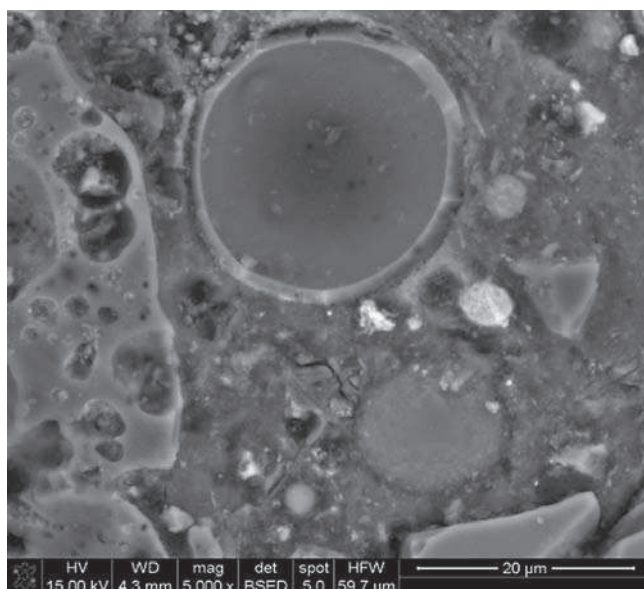
4.1. Beton wzorcowy – badania domieszek napowietrzających wg PN-EN 934-2

Jedyną obowiązującą w kraju norma, w której znajdują się wymagania w zakresie charakterystyki rozkładu porów w stwardniałym betonie, to norma PN-EN 934-2+A1:2012 Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu – Część 2: Domieszki do betonu – Definicje, wymagania, zgodność, oznakowanie i etykietowanie [20]. W niniejszej normie, w tabelicy 5, znajduje się wymaganie dotyczące domieszek napowietrzających. Współczynnik rozmieszczenia w badanym betonie wzorcowym III zgodnym z PN-EN 480-1 [19] powinien mieć wartość $\bar{L} \leq 0,200$ mm. Należy zwrócić uwagę, iż poddany ocenie jest tylko jeden spośród pięciu normowych [20] parametrów opisujących strukturę porów powietrznych w stwardniałym betonie. Ponadto badanie wykonywane jest dla konkretnego betonu wzorcowego III, w którym zastosowano badaną domieszkę napowietrzającą. Zgodnie z normą PN-EN 480-1 [19] beton wzorcowy III ma stałą zawartość cementu portlandzkiego klasy 42,5 lub 52,5 ($C=350$ kg/m³), o określonej miąłkości (3200–4600 cm²/g) i zawartości C_3A (7–11%). Uziarnienie kruszywa i konsystencja mieszanki betonowej również określone są normowo. Zatem, w składzie betonu wzorcowego oprócz badanej domieszki napowietrzającej nie znajdują się żadne domieszki ani dodatki do betonu.

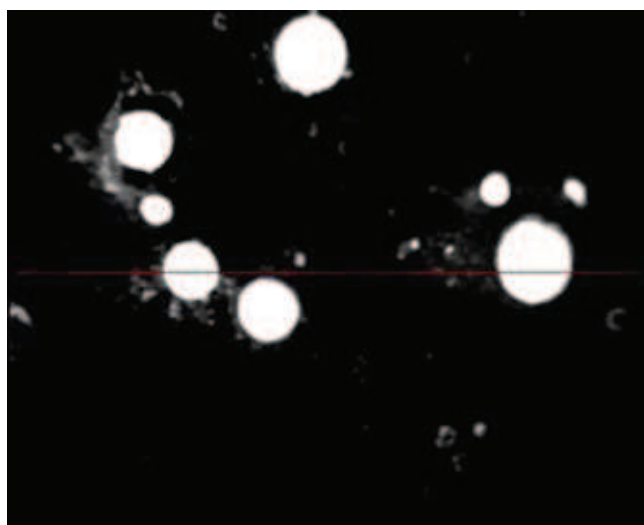


2 μ m
EHT = 5.00 kV Signal A = SE1 Date :22 Jul 2014
WD = 7.0 mm Mag = 5.00 K X Time :9:00:13

Rys. 2. Ziarna popiołu lotnego



Rys. 3. Przecięte ziarna popiołu lotnego w zglądzie do badań struktur porowatości



Rys. 4. Obraz analizowany podczas badań struktur porowatości

4.2. Przykłady błędnej oceny mrozoodporności betonów wbudowanych na podstawie charakterystyk struktur porowatości

Jawański w [8] podaje kilkanaście przykładów wbudowanych betonów drogowych i mostowych, które pomimo prawidłowych [29] parametrów struktur porowatości $\bar{L} \leq 0,200$ mm i $A_{300} \geq 1,5\%$ nie spełniły wymaganego

kryterium stopnia mrozoodporności F150 [12] i przeciwnie, betony spełniające kryterium F150 nie mające prawidłowych parametrów struktur porowatości. Na podstawie zrealizowanych badań i doświadczeń w zakresie napowietrzania mieszanek betonowych określa stosowanie domieszek napowietrzających za technologią podwyższonego ryzyka. Zaleca, aby zachować daleko posuniętą ostrożność przy ewentualnym wyrokowaniu o mrozoodporności betonu mostowego, szczególnie silnie upłynnianego superplastyfikatorami polimerowymi, jedynie na podstawie charakterystyki pęcherzyków powietrznych w mieszance betonowej i betonie.

Tabela 3. Podstawowy skład mieszanek betonowych

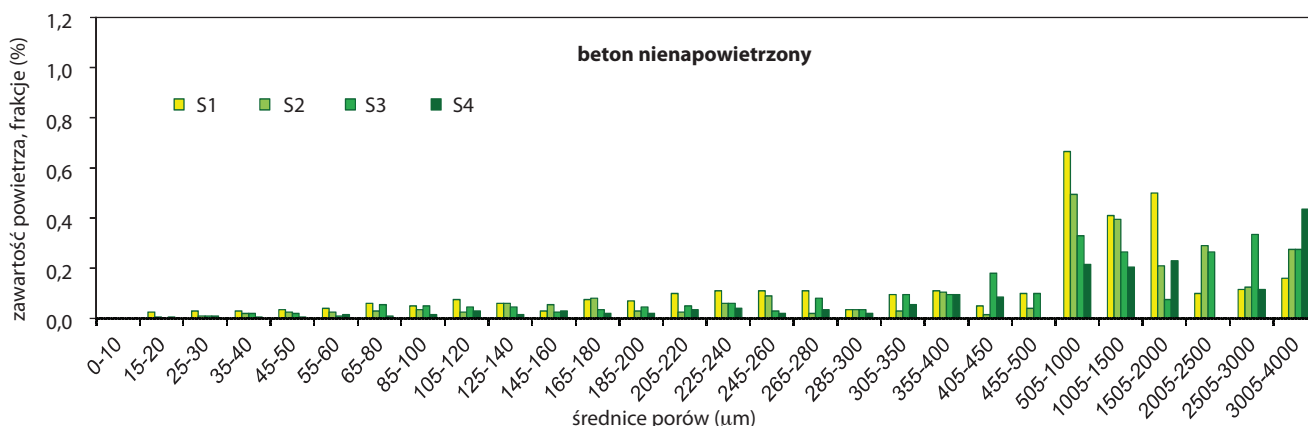
Nazwa składnika	Ilość (kg/m ³)
Piasek 0/2	572
Bazalt 2/8	795
Bazalt 8/16	635
Woda	181
Cement CEM I 42,5R	391

4.3. Wpływ dodatku popiołu lotnego na parametry struktur porowatości

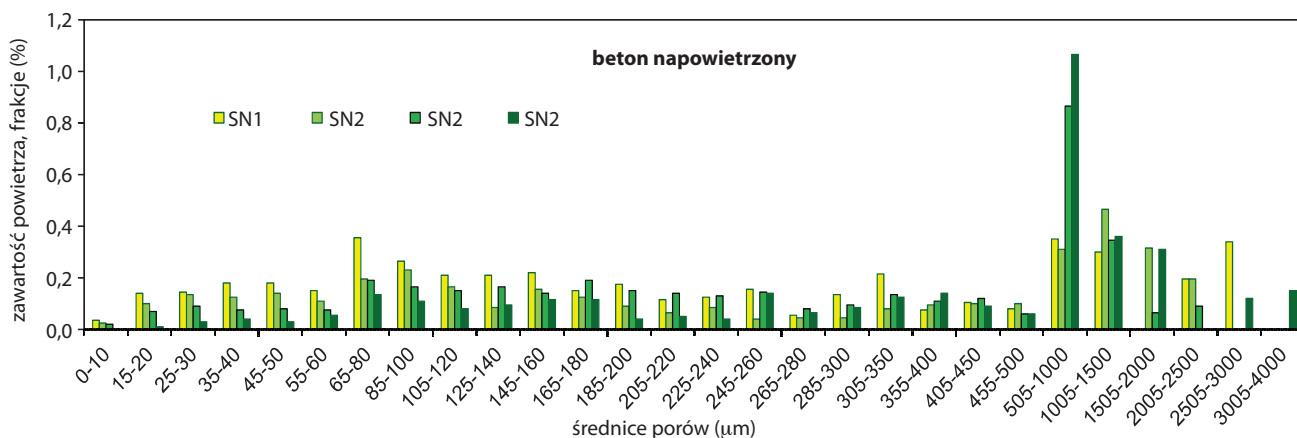
Analiza struktur porowatości za pomocą automatycznego

Tabela 4. Parametry struktur porowatości

Parametr	Betony nienapowietrzzone				Betony napowietrzzone			
	S1	S2	S3	S4	SN1	SN2	SN3	SN4
A (%)	3,36	2,61	2,62	1,76	4,66	3,61	3,95	3,66
α (mm-1)	16,09	12,03	11,89	10,30	43,46	39,98	31,47	17,45
L (mm)	0,382	0,573	0,585	0,820	0,122	0,149	0,181	0,338
A300 (%)	0,88	0,55	0,43	0,23	2,50	1,69	1,84	1,00



Rys. 5. Rozkład wielkości porów w betonach nienapowietrzonych



Rys. 6. Rozkład wielkości porów w betonach napowietrzonych

systemu analizy obrazu RapidAir 457 zgodnie z PN-EN 480-11 [19] 64 serii betonów napowietrzonych i nienapowietrzonych, przy trzech poziomach współczynnika wodno-spoiwowego 0,55; 0,45 i 0,38 z dodatkiem trzech popiołów lotnych należących do kategorii strat prażenia A, B i C wykazała, iż całkowita zawartość powietrza w napowietrzonych betonach z dodatkiem popiołu stanowi sumę zawartości powietrza od napowietrzenia oraz porów w ziarnach popiołów. Niniejszą tezę potwierdzono analizą jakościową badanych betonów z dodatkiem popiołów lotnych. Na rysunku 2 zamieszczono zdjęcie SEM popiołu lotnego krzemionkowego, charakteryzującego się kulistym kształtem ziaren o wymiarach do 100 μm . Na rysunku 3 znajduje się zdjęcie SEM zglądu betonowego, przygotowanego tak, jak do analizy struktur porowatości. Można zaobserwować, iż przecięte ziarno popiołu jest puste w środku, zatem podczas analizy struktury porowatości na skonstrastowanej próbce, w której pory wypełnione są pastą cynkową (rys. 4) nie ma możliwości rozdzielenia porów powietrznych i porów w ziarnach popiołu.

W związku z czym zastosowanie popiołu lotnego jako dodatku do betonu lub cementu może stanowić przyczynę błędnej oceny mrozoodporności betonu na podstawie parametrów struktur porowatości w stwardniałym betonie [10].

4.4. Wpływ superplastyfikatora na parametry struktur porowatości

Struktury porowatości w stwardniałym betonie mimo osiągniętej przez betony wymaganej mrozoodporności często nie dają zadowalających rezultatów. Zrealizowane badania [10] wykazały, iż w stwardniałym betonie upłynnianym w stadium mieszanki za pomocą polimerowego superplastyfikatora pojawia się znaczna zawartość porów o wymiarach od 0,5 do 1 mm. W programie badawczym [9] wykonano osiem serii napowietrzonych i nienapowietrzonych betonów, o zmiennej zawartości superplastyfikatora umożliwiającej uzyskanie mieszanek betonowych o klasach konsystencji S1, S2, S3 i S4. Podstawowy skład betonu oraz zawartość domieszki napowietrzającej w betonach napowietrzonych były stałe (tab. 3).

Badania struktur porowatości w stwardniałym betonie przeprowadzono za pomocą urządzenia Rapid Air 457 w sposób zgodny z zaleceniami PN-EN 480-11:2008 dla dwóch próbek betonu o wymiarach 100x150x20mm dla każdej serii betonów. Parametry struktur porowatości zbadanych betonów zamieszczono w tablicy 4. Na rysunkach 5 i 6 zamieszczono rozkłady wielkości porów w poszczególnych seriach betonów nienapowietrzonych i napowietrzonych.

Wyniki badań wykazały (tab.4), iż wraz z upłynnieniem mieszanki betonowej (w miarę wzrostu zawartości superplastyfikatora) obniża się efektywność stałej ilości domieszki napowietrzającej, będący efektem upłynnienia, działania superplastyfikatora, interakcji domieszki

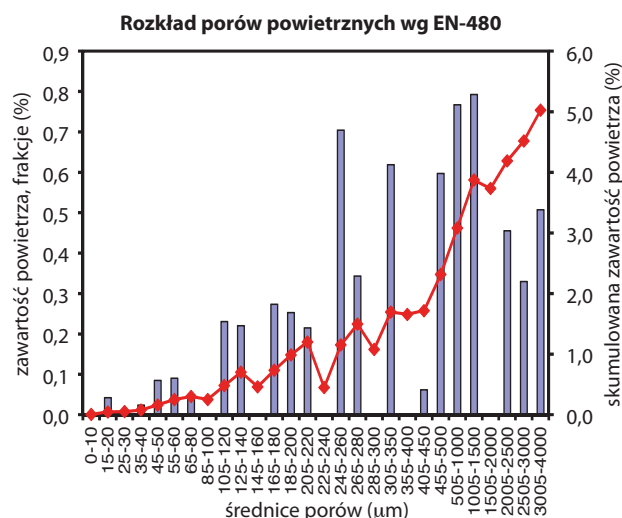
napowietrzającej i superplastyfikatora lub nakładania się tychże efektów.

Na skutek napowietrzenia w niewielkim stopniu ulega zmianie całkowita zawartość powietrza w betonie (A) (tab. 4), jednakże znaczącej zmianie ulegają rozmiary porów (rys. 5 i 6). W betonach napowietrzonych maleje zawartość dużych, przypadkowo schwytych porów (entrapped air), a rośnie zawartość drobnych porów powstających na skutek działania domieszki napowietrzającej (entrained air).

W miarę upłynnienia mieszanki betonowej (wraz ze wzrostem zawartości superplastyfikatora), zarówno w betonach nienapowietrzonych jak i napowietrzonych, zawartość powietrza w drobnych frakcjach maleje, natomiast w grubych frakcjach rośnie (rys. 5 i 6). Napowietrzenie betonów bez superplastyfikatora powoduje obniżenie zawartości „dużych” porów w betonie. Jednakże w betonach z zastosowaną domieszką upłynniającą wzrasta ich zawartość w miarę wzrostu jej zawartości.



Rys. 7. Zgląd próbki betonowej



Rys. 8. Rozkład wielkości porów

Tabela 5. Parametry struktury porowatości w zależności od uwzględnionych średnic porów

Parametr	Uwzględnione średnice porów		
	< 0,5 mm	< 1,0 mm	< 4,0 mm
Liczba porów	291	306	317
Percent porów	91,8	96,5	100
A (%)	2,49	3,24	4,87
α (mm ⁻¹)	38,88	31,41	21,69
(mm)	0,172	0,189	0,228

4.5. „Kraterki wodorowe” a struktura porowatości

W próbkach betonowych na etapie przygotowania do badań struktury porowatości, po przecięciu zaobserwowano znaczną ilość dużych porów widocznych gołym okiem (rys. 7).

Analiza porów powietrznych za pomocą systemu RapidAir 457 pozwoliła na uzyskanie rezultatów zamieszczonych w tabeli 5. Podczas analizy system uwzględnił pory o wymiarach od 10–4000 μm . Standardowo, w analizie po uwzględnieniu wszystkich porów (do 4 mm) wskaźnik rozmieszczenia wyniósł 0,228 i tym samym przekroczył wymaganą dopuszczalną [29] wartość 0,200 mm. Na rysunku 5 zaznacza się (widoczna gołym okiem rys. 7) znaczna ilość porów we frakcjach 2005–2500, 2505–3000 i 3005–4000 μm . Przy klasie konsystencji mieszanki betonowej S3 i prawidłowym zagęszczeniu pory o tych rozmiarach nie powinny występować.

Bajorek et al. [1] jako przyczynę pojawienia się porów o tych wymiarach wskazuje aluminiowe skrzynie do transportu kruszyw. Wodór, będący produktem reakcji drobin aluminium z $\text{Ca}(\text{OH})_2$ powoduje rozpulchnienie betonu.

W tabeli 5 zamieszczono parametry struktur porów powietrznych uwzględniane w normowej analizie (<4 mm), a także przy uwzględnieniu porów tylko do 0,5 oraz 1 mm. Obserwujemy, iż po odrzuceniu „dużych porów” powstałych na skutek obecności na kruszywie drobin aluminiowych uzyskano wskaźniki rozmieszczenia o wartości spełniającej wymagania [29], mniejszej od 0,200 mm. Należy zwrócić uwagę, iż „duże pory” w przytoczonym przykładzie stanowią 3,5% wszystkich porów, co przyczyniło się do wzrostu zawartości powietrza o 1,63%.

5. Podsumowanie

Parametry struktury porowatości w stwardniałym betonie coraz powszechniej stosowane są jako jedno z kryteriów oceny mrozoodporności betonu. Ustalone na podstawie modelu Powersa wielkości parametrów, które gwarantują uzyskanie mrozoodpornej struktury betonu z powodzeniem mogą być stosowane w przypadku betonu wzorcowego, w którym oprócz badanej domieszki napowietrzającej nie są stosowane żadne inne domieszki ani dodatki.

Przytoczone w referacie przykłady zmian struktury

porowatości w przypadku stosowania superplastyfikatorów, dodatku popiołu lotnego, czy też transportu kruszywa w skrzyniach aluminiowych wskazują, iż współczesna technologia betonu oparta na bardzo szerokim rozwoju domieszek i dodatków do betonu spowodowała znaczące zmiany w strukturze betonu. Zatem ocena mrozoodporności na podstawie parametrów struktur porowatości powinna opierać się o szczegółową analizę poprzedzającą ewentualną dyskredytację betonu.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Bajorek G., Kalukin B., Kiernia-Hnat M., Kraterki wodorowe w betonie nawierzchniowym – ocena zagrożenia trwałości konstrukcji, VIII Konferencja DNI BETONU 2014
- [2] BN-62/6738-03 Beton hydrotechniczny – Składniki betonów
- [3] BN-62/6738-07 Beton hydrotechniczny – Wymagania techniczne
- [4] Fagerlund G., Trwałość konstrukcji betonowych, Arkady, Warszawa 1997
- [5] Flaga K., Bogacka M., Maliszewicz P., Cechy trwałościowe betonów mostowych na przykładzie obiektów mostowych autostrady A2 na odcinku Konin-Koło-Dąbie. Inżynieria i Budownictwo, nr 9/2007
- [6] Flaga K., O mrozoodporności betonów mostowych. W: „Trwałość obiektów mostowych”. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław, XI. 2012
- [7] Glinicki A., Radomski W., Diagnostyka mrozoodporności betonu w drogowych obiektach mostowych Drogownictwo 9/2013
- [8] Jawański W., Struktura napowietrzenia mieszanki betonowej i betonu stwardniałego a jego rzeczywista mrozoodporność VIII Konferencja DNI BETONU 2014
- [9] Nowak-Michta A., Influence of superplasticizer on porosity structures in hardened concretes – Procedia Engineering Volume 108, 2015, str. 262–269 doi: 10.1016/j.proeng.2015.06.146
- [10] Nowak-Michta A., Struktura porowatości betonów napowietrzonych z dodatkiem popiołu lotnego krzemionkowego Praca doktorska, Politechnika Krakowska, 2008
- [11] PKN-CEN/TS 12390-9: 2007 Testing hardened concrete – Part 9: Freeze-thaw resistance – Scaling
- [12] PN 88-B-06250 Beton zwykły
- [13] PN-EN 1338:2005 Betonowe kostki brukowe – Wymagania i metody badań
- [14] PN-EN 1339:2005 Betonowe płyty brukowe – Wymagania i metody badań
- [15] PN-EN 1340:2005 Krawężniki betonowe – Wymagania i metody badań
- [16] PN-EN 13877-1:2013-08 Nawierzchnie betonowe – Część 1: Materiały
- [17] PN-EN 13877-2:2013-08 Nawierzchnie betonowe – Część 2: Wymagania funkcjonalne dla nawierzchni betonowych
- [18] PN-EN 206:2014-04 Beton – Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
- [19] PN-EN 480-11:2008: Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu. Metody badań. Oznaczenie charakterystyki porów powietrznych w stwardniałym betonie
- [20] PN-EN 934-2+A1:2012 Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu – Część 2: Domieszki do betonu – Definicje, wymagania, zgodność, oznakowanie i etykietowanie
- [21] PN-S-10040:1999 Obiekty mostowe. Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Wymagania i badania
- [22] PN-V 83002:1999 Lotniskowe nawierzchnie z betonu cementowego. Wymagania ogólne i metody badań
- [23] Pr. BN-6738 Beton Hydrotechniczny – IMiGW, Warszawa 1988
- [24] Pr. NO-17-A204:2013 Lotniskowe nawierzchnie betonowe. Wymagania i metody badań nawierzchni z betonu cementowego
- [25] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20.04.2007 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie (Dz.U. nr 86, poz.579)
- [26] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 02.03.1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie (Dz.U. nr 43 poz. 430)
- [27] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 roku w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać obiekty inżynierskie i ich usytuowanie (Dz.U. nr 63, poz. 735)
- [28] Rusin Z., Technologia betonów mrozoodpornych, Wydawnictwo Polski Cement 2002
- [29] Wzorcowe Dokumenty Kontraktowe (WDK) dla systemów „Projektuj i buduj” i „Utrzymaj standard” <https://www.gddkia.gov.pl/pl/1995/Wzorcowe-Warunki-Kontraktowe-WWK-dla-systemu-Projektuj-i-buduj> (pobrano 05-2015)