

Struktura napowietrzenia mieszanki betonowej i betonu stwardniałego a jego rzeczywista mrozoodporność

Odporność betonu na naprzemienne zamarzanie i rozmarzanie jest istotną cechą determinującą jego trwałość. Beton odporny na taki rodzaj ekspozycji powinien być zaprojektowany i wykonany z zastosowaniem odpowiedniego cementu, możliwie małej ilości wody zarobowej oraz mrozoodpornych kruszyw. Decydujące znaczenie ma jednak prawidłowe napowietrzenie betonu przy pomocy domieszek chemicznych, przy czym istotna jest nie tylko ilość wprowadzonych w ten sposób porów powietrza, ale również ich wielkość i rozkład. Obecnie popularne są przede wszystkim dwie metody oceny tych wielkości: badanie świeżej mieszanki analizatorem AVA oraz badanie rozkładu pęcherzyków w betonie stwardniałym wg [5]. W artykule przedstawiono wyniki badań wstępnych, a następnie wyniki porównania bezpośredniego obu metod oraz wyniki badania stopnia mrozoodporności F150 na próbkach pobranych z tych samych zarobów laboratoryjnych.

Napowietrzenie betonu

Napowietrzenie betonu to zabieg technologiczny mający na celu kontrolowane wprowadzenie określonej ilości pęcherzyków powietrza o możliwie małej średnicy i o jak najmniejszym zróżnicowaniu. Obecnie wykonywany jest on najczęściej przy pomocy odpowiednich domieszek chemicznych o tak dobranym składzie i dozowaniu, aby uzyskać w alkalicznym środowisku mieszanki betonowej stabilny efekt, niezmienny się w istotny sposób również podczas jej obróbki technologicznej i gęstnienia (alternatywnym sposobem, który daje znacznie stabilniejsze efekty, ale ze względów cenowych jest zdecydowanie rzadziej stosowany, jest stosowanie tzw. mikrofer). Napowietrzenie zmienia w istotnym stopniu następujące parametry mieszanki betonowej:

- obniża gęstość
- zwiększa klasę konsystencji
- ułatwia podawanie mieszanki pompami – obserwuje się jednak przy tym straty napowietrzenia nawet rzędu 30-40%

oraz przede wszystkim betonu stwardniałego:

- obniża wytrzymałość
- zwiększa nasiąkliwość
- obniża wodoszczelność
- znacznie zwiększa mrozoodporność.

Zbyt duża ilość wprowadzonego powietrza oraz zbyt duże i nadmiernie oddalone od siebie pęcherzyki mogą jednak nie tylko w ogóle nie zwiększyć mrozoodporności, ale wręcz zdyskwalifikować beton przez jego spienienie zamiast napowietrzenia i nieosiągnięcie wymaganej klasy wytrzymałości oraz innych wymaganych właściwości. Ilość wprowadzonego powietrza może być

w dodatku silnie uzależniona od temperatury, czystości kruszyw, czasu mieszania, konsystencji i uziarnienia stosu okrucowego. Przykładowo: jeśli punkt piaskowy mieszanki betonu wzorcowego III wg [1] zostanie podniesiony z wartości minimalnej 30% do maksymalnej 40%, to aby uzyskać takie samo napowietrzenie mieszanki z domieszką należy jej dozowanie obniżyć nawet trzykrotnie. Dlatego też stosowanie domieszek napowietrzających uznawane jest za technologię podwyższonego ryzyka.

Tym niemniej, napowietrzanie domieszkami stosowane jest w technologii betonu z powodzeniem od wielu dziesięcioleci. Obecnie norma [2] nakazuje do betonów o wysokich klasach ekspozycji na naprzemienne zamarzanie i rozmarzanie XF3 i XF4 uzyskanie napowietrzenia mierzonego jako całkowita zawartość powietrza w mieszance betonowej co najmniej 4%, jeśli mrozoodporność nie jest potwierdzona innymi metodami. Jest to wymóg bardzo uproszczony, niepodający nawet zależności między wymaganym napowietrzeniem a maksymalną średnicą uziarnienia (był on pod tym względem znacznie obszerniej ujęty w [3]), ani też żadnych wymogów co do struktury napowietrzenia. Można to poniekąd tłumaczyć faktem, że stosowane domieszki muszą być zgodne z [4], czyli przebadane pod kątem uzyskiwania wymaganego współczynnika rozkładu porów. Niestety niekoniecznie gwarantuje to, że struktura napowietrzenia w danym, konkretnym rodzaju betonu, który może znacznie odbiegać od betonów wzorcowych do badań domieszek, będzie na pewno prawidłowa.

Obecnie przyjmuje się, że typowy beton o uziarnieniu 0/16 mm został prawidłowo napowietrzony, jeśli:

- w wyniku wprowadzenia domieszki zawartość powietrza wzrosła o co najmniej 2%
- sumaryczna zawartość powietrza w mieszance napowietrzonej wynosi od 4% do 6% (ale w niektórych krajach, np. skandynawskich, można spotkać mieszanki napowietrzane nawet do 8%)
- wskaźnik rozmieszczenia pęcherzyków powietrza nie przekracza 200 μm .

W ciągu kilku ostatnich lat, w związku ze znacznym wzrostem liczby realizacji betonów drogowych i mostowych, wzrosło również zainteresowanie jakością napowietrzania mieszanek betonowych. Obok standardowego wymogu oznaczenia wymaganego stopnia mrozoodporności (najczęściej F150 wg [3]) zaczęto wprowadzać wymogi oznaczenia również wskaźnika rozmieszczenia pęcherzyków powietrza. Stosowane są najczęściej dwie metody: znormalizowana metoda analizy obrazu pęcherzyków wg [5], gdzie badane są próbki stwardniałego betonu oraz nieznormalizowana metoda AVA [8], gdzie badane są próbki mieszanki betonowej.

W tej sytuacji logiczne jest postawienie pytania, czy istnieje związek między wynikami oznaczeń wskaźnika rozmieszczenia uzyskiwanymi na dwa odmienne sposoby oraz z wynikami standardowych badań stopnia mrozoodporności F150.

Metody oznaczania charakterystyki napowietrzenia betonu

Obie wspomniane metody pozwalają na określenie następujących wielkości kryterialnych, według których można ocenić strukturę napowietrzenia:

- A [%] – całkowita zawartość powietrza (pęcherzyki do 2 mm); przyjmuje się, że nie powinna odbiegać o więcej, niż 1,0–1,5% od wyniku pomiaru zawartości powietrza metodą ciśnieniową wg [6]
- α [mm⁻¹] – powierzchnia właściwa systemu pęcherzyków powietrznych; powinna wynosić co najmniej 24 mm⁻¹
- A₃₀₀ [%] – zawartość pęcherzyków o średnicy poniżej 300 μ m; powinna wynosić powyżej 1%
- L [mm] – wskaźnik rozmieszczenia pęcherzyków; nie powinien przekraczać wartości 0,20 mm.

Metoda analizy obrazu rozkładu pęcherzyków jest opisana szczegółowo w [5]. Badaniu poddawane są standardowe próbki sześciennie #15 cm lub walcowe Φ 15 cm H30 cm, w wieku co najmniej 7 dni (z uwagi na ewentualny wpływ kolmatacji zaleca się, aby próbki nie były starsze niż 28 dni). Oznaczenie sprowadza się do ich rozcięcia, wyszlifowania oraz wykonania kontrastu powierzchniowego szlifów, dzięki czemu pęcherzyki stają się wyraźnie widoczne, a następnie na wykonaniu w określonych miejscach i wzdłuż określonych linii pomiarów mikroskopowych cięciw i obliczeniu na tej podstawie wymienionych wyżej wartości kryterialnych.

Metoda określana skrótem AVA (z ang. Air Void Analyser) – została opracowana na początku lat 90. XX w. w Europie w zespole kierowanym przez DBT – Dansk Beton Teknik. Punktem wyjścia była potrzeba opracowania szybkiej metody niewymagającej badania betonu stwardniałego – chodziło w pierwszej kolejności o betony drogowe i zastąpienie metody amerykańskiej wg [7] oraz metod na niej opartych. Polega ona na pobraniu specjalnym próbnikiem próbki świeżej mieszanki betonowej – konstrukcja próbnika powoduje pobieranie de facto „grubej zaprawy” z odrzuceniem kruszywa powyżej 6 mm. Tak pobrana próbka podawana jest do specjalnego naczynia cylindrycznego wypełnionego specjalną mieszkanką glikolową o określonej lepkości i mieszana magnetycznie przez 30 sekund, w wyniku czego uwalniane są z niej powoli pęcherzyki powietrza, od największych do najmniejszych. Unoszą się one w naczyniu cylindrycznym najpierw przez warstwę tej mieszanki, a potem przez przykrywającą ją warstwę wody, a następnie gromadzą się pod zanurzoną w wodzie pokrywą połączoną z wagą hydrostatyczną. Urządzenie rejestruje przyrost siły wyporu w czasie badania i przypisuje go wg specjalnego algorytmu malejącym średnicom pęcherzyków powietrza. Na tej podstawie obliczane są te same wielkości kryterialne, jednak algorytm opracowany został pod kątem korelacji z normą amerykańską [7].

Aktualnie dostępne są 2 podstawowe modele takich analizatorów: AVA 2000 oraz nowsza wersja



Fot. 1. Analizator AVA – wygląd ogólny

AVA 3000. Najczęściej stosowany jest model AVA 2000. Wygląd i działanie takiego analizatora pokazano na fotografiach 1 i 2.

Bez wątpliwości obie metody mają solidne podstawy naukowe i zostały profesjonalnie opracowane. Pojawiają się jednak wątpliwości, czy istnieje korelacja między uzyskiwanymi wynikami oraz czy znajdują one potwierdzenie w wynikach bezpośrednich badań mrozoodporności metodą podstawową. Należy tutaj wymienić następujące przykładowe przyczyny potencjalnych niezgodności:

- Przydatność metody AVA do badania mieszanek betonowych różnych rodzajów, przede wszystkim o różnych stopniach ciekłości (metodę opracowano dla gęstych mieszanek drogowych).
- Wiarygodność i powtarzalność poboru próbek (np. wpływ wibracji).
- Moment poboru próbki ze świeżej mieszanki (mieszanka pobrana na wężle lub z betonowozu jest całkowicie niemiernodajna dla mieszanek podawanych pompami, gdyż podczas pompowania dochodzi do znacznych spadków napowietrzenia).
- Dokładność zliczania liniowego w stwardniałym betonie cięciw pęcherzyków, które mogą być przycięte i zeszlifowane w różnych przekrojach.
- Znane, zwłaszcza technologom domieszek, znaczne różnice w ich działaniu uzależnione nie tylko od składu chemicznego, ale również od rodzaju spoiwa, rodzaju betonu oraz konsystencji mieszanki betonowej.

Fot. 2. Analizator AVA – gromadzenie się zliczanych mikropęcherzyków

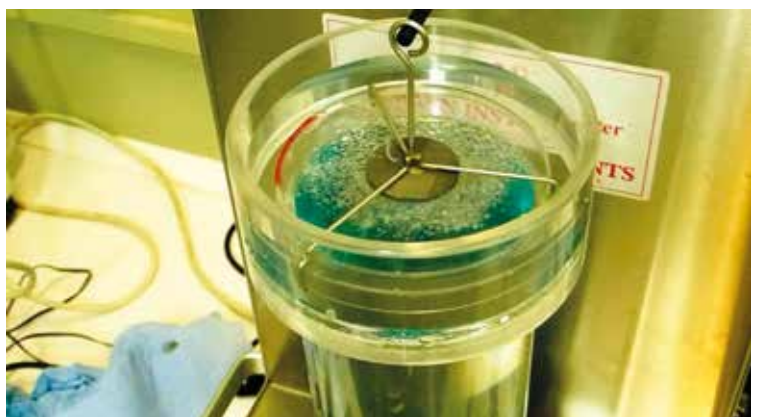


Tabela 1. Receptury betonów N, B, HT i BDC, odmiany 1, 2 i 3

RECEPTURY BETONÓW	N1 - N3		B1 - B3		HT1 - HT3		BDC1 - BDC3	
	kg/m ³	dm ³ /m ³	kg/m ³	dm ³ /m ³	kg/m ³	dm ³ /m ³	kg/m ³	dm ³ /m ³
CEM I 42,5 SR/5 NA	395,0	127,4						
CEM I 42,5 SR/3 NA			350,0	112,9				
CEM III/A 32,5 N HSR NA LH					270,0	90,0		
CEM II/B-S 32,5 R							320,0	106,7
Popiół lotny							60,0	28,6
Woda	144,0	144,0	151,0	151,0	135,0	135,0	160,0	160,0
Piasek 0/2	490,0	185,1	634,0	239,3	458,0	173,4	509,0	191,9
Żwir 2/8					345,0	130,0	544,0	205,1
Żwir 8/16					77,0	28,9	701,0	264,6
Żwir 16/32					1034,0	389,5		
Grys granitowy 2/8	537,0	191,9						
Grys granitowy 8/16	864,0	308,6						
Grys bazaltowy 2/8			584,0	191,5				
Grys bazaltowy 8/16			772,0	252,5				
Projektowane napowietrzenie		40,0		50,0		50,0		40,0
Domieszki wg EN 934-2	według tabeli 2							

Tabela 2. Rodzaje i ilości stosowanych domieszek oraz właściwości mieszanek i betonów stwardniałych N, B, HT i BDC, odmiany 1, 2 i 3

OZNACZENIE BETONU	N1	N2	N3	B1	B2	B3	HT1	HT2	HT3	BDC1	BDC2	BDC3
Domieszki, faktyczne dozowanie [% m.c.]												
Superplastyfikator naftalenowy 30%	0,58	0,58	0,58									
Superplastyfikator polikarboksyłanowy 30%				0,70	0,70	0,70						
Superplastyfikator polikarboksyłanowy 20%							1,00	1,00	1,00			
Plastyfikator lignosulfonianowy 36%										0,88	0,88	0,88
Domieszka napowietrzająca 1	1,58			0,15			0,24			0,20		
Domieszka napowietrzająca 2		0,20			0,15			0,24			0,20	
Domieszka napowietrzająca 3			0,13			0,10			0,14			0,10
Wyniki badań mieszanki												
Opad stożka po 1h [cm]	1,0	1,0	1,0	18,0	19,0	18,0	4,0	4,5	4,0	13,0	13,5	13,5
Napowietrzenie po 1h [%]	4,0	4,0	4,6	4,6	5,0	5,3	5,0	5,1	5,4	3,9	4,2	4,0
Gęstość po 1h [kg/dm ³]	2,330	2,333	2,287	2,448	2,439	2,429	2,288	2,283	2,278	2,275	2,263	2,275
Wyniki badań zliczeniowych wg EN 480-11												
A [%]	3,33	4,06	2,69	2,22	2,39	2,62	3,61	4,57	4,16	3,90	3,82	3,43
α [mm ⁻¹]	33,82	32,38	41,97	22,33	19,63	17,14	26,40	36,57	25,33	32,25	25,18	37,98
L [mm]	0,17	0,16	0,15	0,31	0,34	0,37	0,20	0,13	0,19	0,17	0,23	0,16
A300 [%]	1,42	1,69	1,27	0,55	0,55	0,48	1,00	1,78	0,79	1,26	1,21	1,59
Wyniki badania stopnia mrozoodporności F150												
R [MPa] - świadków normowo, po badaniu mrozoodporności	82,6	80,3	71,1	94,6	95,7	72,4	57,5	59,7	47,7	68,4	63,7	62,6
F 150 ubytek masy; %	0,1	0,2	0,2	-0,2	0,2	0,4	0,2	0,2	0,3	-0,2	0,2	-0,7
F 150 spadek wytrzymałości; %; normowo	2,2	-0,4	0,4	15,5	4,2	1,7	9,8	6,7	9,5	15,7	10,0	33,7
R [MPa] - świadków przed badaniem mrozoodporności	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	51,0	52,8	38,1	56,6	51,3	52,5
F 150 spadek wytrzymałości; %; względem świadków zgniecionych przed badaniem mrozoodporności	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,7	-5,5	-13,4	-1,8	-11,7	20,9

– Wpływ innych czynników, niż napowietrzenie, na mrozoodporność betonu.

Z tego względu zdecydowano o wykonaniu 2 serii badań. W pierwszej z nich, wstępnej, przebadano 4 różne rodzaje betonu stosując 3 proste, monosurowcowe rodzaje domieszek napowietrzających, wykonując tylko badania metodą analizy obrazu pęcherzyków w betonie stwardniałym i badania stopnia mrozoodporności F150. Na podstawie uzyskanych wyników zdecydowano o zastosowaniu w drugiej, głównej serii wyłącznie domieszek specjalistycznych do betonów pompowych i przebadano 5 różnych domieszek na 2 rodzajach betonu o wysokim stopniu ciekłości, wykonując badanie AVA, analizę obrazu pęcherzyków w betonie stwardniałym oraz badanie stopnia mrozoodporności F150.

Badania 4 rodzajów betonu z 3 prostymi, monosurowcowymi domieszkami napowietrzającymi (wstępna seria badań)

Do badań wytypowano 4 różne rodzaje betonu napowietrzanego:

- Autostradowy nawierzchniowy – oznaczenie N1, N2 i N3
- Mostowy pompowy – oznaczenie B1, B2 i B3
- Hydrotechniczny – oznaczenia HT1, HT2 i HT3
- Towarowy – oznaczenia BDC1, BDC2 i BDC3.

Każdy rodzaj wykonany został z 3 różnymi domieszkami napowietrzającymi typu monosuwrowcowego (tylko 1 surowiec główny) oznaczonymi kolejno numerami 1, 2 i 3:

- 1 – domieszka na bazie pochodnych kalafonii
- 2 – domieszka na bazie żywic korzennych
- 3 – domieszka na bazie tensydowej.

Każda z 12 mieszanek betonowych i próbek poddana została następującym badaniom:

- oznaczenia podstawowe mieszanki po 1h (bezpośrednio przed formowaniem próbek): opad stożka, zawartość powietrza, gęstość mieszanki
- analiza obrazu pęcherzyków powietrznych w betonie stwardniałym wg [5]
- badania stopnia mrozoodporności F150 wg [3]
- dodatkowa seria badań stopnia mrozoodporności F150 dla betonów, dla których okres dojrzewania 28 dni jest zbyt krótki (tzn. spadki wytrzymałości mogą być zawyżone przez przyrosty wytrzymałości próbek-świadków podczas badania).

W tabelach 1 i 2 zestawiono wszystkie receptury badanych betonów oraz wyniki badań (wyniki w tab. 2. nie spełniające wymagań dla wartości kryterialnych zaznaczono kolorem czerwonym):

Analiza tych wyników pozwoliła na następujące wnioski:

- W przypadku betonów mostowych przeznaczonych do podawania pompami, o wysokim stopniu ciekłości uzyskiwanym domieszkami upłynniającymi na bazie PCE, użycie monosuwrowcowych domieszek napowietrzających prowadzi do fatalnych wyników analizy obrazu pęcherzyków, mimo że mieszanki betonowe są poprawne i stabilne, a betony osiągają bez problemu stopień F150.
- W przypadku pozostałych 3 rodzajów betonu dochodzi do pojedynczych przypadków nieosiągnięcia wymaganych wartości kryterialnych, jednak zawsze co najmniej jedna z domieszek napowietrzających działa bardzo dobrze.
- Potwierdziły się również od dawna znane fakty, że wartość kryterialna spadku masy próbek w wyniku badania F150 wynosząca aż 5% jest absurdalnie wysoka (zupełnie wystarczająca byłaby wartość 1%), jak również że zwłaszcza w przypadku cementów z dodatkami mineralnymi próbki-świadki powinny być zgniatane na początku, a nie na końcu cyklu badawczego.

Pierwszy i najważniejszy z powyższych wniosków doprowadził do wykonania nowych receptur domieszek napowietrzających z ukierunkowaniem na mostowe betony pompowe upłynniane silnymi superplastyfikatorami polikarboksylianowymi oraz do zawężenia programu badań z wykorzystaniem analizatora AVA do 2 podstawowych rodzajów takiego betonu, ale z przebadaniem aż 5 różnych kompleksowych domieszek napowietrzających.

Badania 2 rodzajów betonu pompowego z 5 specjalistycznymi domieszkami napowietrzającymi (główna seria badań)

Do badań wytypowano 2 podobne rodzaje mostowego betonu napowietrzanego, różniące się głównie rodzajem cementu i kruszywa grubego. Każdy rodzaj wykonany został z 5 różnymi do-

Tabela 3. Receptury betonów M i K, odmiany 1-5

RECEPTURY BETONÓW	M1 - M5	K1 - K5
Składniki	kg/m ³	kg/m ³
CEM I 42,5 SR/5 NA		345,0
CEM III/A 32,5 N HSR NA LH	350,0	
Woda	161,0	158,0
Piasek 0/2	590,0	602,0
Grys granitowy 2/8	483,0	485,0
Grys granitowy 8/16	716,0	709,0
Projektowane napowietrzenie	5%	6%
Domieszki wg EN 934-2	Wg Tab.4.	

mieszkami napowietrzającymi typu kompleksowego (co najmniej 2 surowce główne), co oznaczono numerami od 1 do 5:

- Mostowy masywny (ściany szczelinowe, fundamenty, pylony i inne elementy masywne) – oznaczenia M1 do M5
- Konstrukcyjny – oznaczenia K1 do K5

Każdy z 10 rodzajów betonu poddany został następującym badaniom:

- Oznaczenia podstawowe mieszanki po 0,5h (bezpośrednio przed formowaniem próbek): opad stożka i zawartość powietrza
- Badania charakterystyki porów powietrznych w mieszance betonowej analizatorem AVA 2000
- Analiza obrazu pęcherzyków powietrznych w betonie stwardniałym wg [5]
- Badania stopnia mrozoodporności F150 (za wyjątkiem betonu K2, rezygnacja z powodu braku możliwości zaformowania próbek bezpośrednio po badaniu mieszanki)

W tabelach 3 i 4 zestawiono obie receptury betonu oraz wyniki badań (wyniki w tabeli 4 niespełniające wymagań dla wartości kryterialnych zaznaczono kolorem czerwonym).

Stwierdzono, że analiza tych wyników nie pozwala na wyciągnięcie żadnych jednoznacznych wniosków o ewentualnych korelacjach między charakterystyką pęcherzyków powietrznych a trwałością betonu określaną wynikami badań stopnia mrozoodporności F150. W szczególności warto podkreślić, że:

- Uznawany za podstawową wartość kryterialną wskaźnik rozmieszczenia pęcherzyków L oznaczony obiema metodami może różnić się nawet dwukrotnie.
- Stwierdzono przypadek – beton M4 – że wskaźnik L był poniżej wartości 0,20, a jednocześnie dokładnie ten beton uzyskał w badaniu F150 najgorszą wartość spadku wytrzymałości (spadek o 10,2%).
- Stwierdzono też przypadek dokładnie odwrotny – beton K5 – że wskaźnik L przekraczał aż o 50% dopuszczalną wartość 0,20, a jednocześnie dokładnie ten beton uzyskał w badaniu F150 najlepszą wartość spadku wytrzymałości (wzrost o 1,9%).
- Generalnie, żaden z betonów badanych w drugiej, głównej serii nie spełnił w 100% wymagań osiągnięcia wszystkich zalecanych wartości kryterialnych, a mimo to wszystkie spełniły wymagania dla stopnia mrozoodporności F150.

Tak jak w przypadku pierwszej, wstępnej serii, uzyskane wyniki stanowiły dla producenta domieszek istotny

komplet informacji pozwalający na optymalny dobór domieszek napowietrzających do pompowych betonów mostowych o wysokich klasach konsystencji.

Podsumowanie

Wyniki przeprowadzonych badań prowadzą do wniosku, że:

- Należy zachować daleko posuniętą ostrożność przy ewentualnym wyrokowaniu o mrozoodporności betonu mostowego, silnie upłynnianego superplastyfikatorami polimerowymi, jedynie na podstawie charakterystyki pęcherzyków powietrznych w mieszance betonowej i betonie.
- Uznawany za podstawową wartość kryterialną wskaźnik rozmieszczenia pęcherzyków L oznaczony w świeżej mieszance analizatorem AVA oraz w stwardniałym betonie z tego samego zarobu metodą analizy obrazu pęcherzyków może się różnić nawet dwukrotnie. Może wystąpić sytuacja, że wskaźnik L jest mniejszy lub równy 0,20 mm, a badany beton wykazuje po 150 cyklach już takie spadki wytrzymałości na ściskanie, że prawdopodobnie nie osiągnie stopni wyższych niż F200. Może się też zdarzyć, że przy użyciu obu tych metod zostanie po prostu zdyskwalifikowany beton, który uzyskuje najlepsze wyniki w bezpośrednim badaniu mrozoodporności.
- Warto też zwrócić uwagę, że typowe dla budownictwa drogowego i mostowego wymaganie osiągnięcia stopnia mrozoodporności F150 nie jest wymaganiem wygórowanym. Wiadomo, że można je spełnić w ogóle bez napowietrzania betonu, ale pod warunkiem stosowania wyłącznie dokładnie wyfukanych, mrozoodpornych kruszyw – w tej chwili się od tego odchodzi, bo po prostu beton napowietrzony na kruszywach gorszej jakości jest tańszy. Być może gdyby wymaganie osią-

gnięcia stopnia F150 zastąpić na przykład dużo bardziej restrykcyjnym, stosowanym w hydrotechnice wymaganiem osiągnięcia stopnia M150 (znacznie bardziej wymagające badania spadku siły rozłupującej, która „dokłada się” do już istniejących mikrouszkodzeń spowodowanych przez mróz, zamiast badania spadku siły ściskającej, która w pierwszej fazie badania wręcz „niweluje” takie mikrouszkodzenia), wpływ charakterystyki napowietrzania byłby już zdecydowanie bardziej jednoznaczny. Z pewnością warto kontynuować prace w tym kierunku.

mgr inż. Witold Jawański
Sika Poland Sp. z o.o.

Literatura

- EN 480-1 Admixtures for concrete, mortar and grout – Test methods – Part 1: Reference concrete and reference mortar for testing
- EN 206-1 Concrete – Part 1 – Specification, performance, production and conformity
- PN-88/B-06250 Beton zwykły
- EN 934-2 Admixtures for concrete, mortar and grout – Part 2: Concrete admixtures - Definitions, requirements, conformity, marking and labeling
- EN 480-11 Admixtures for concrete, mortar and grout – Test methods – Part 1: Determination of air void characteristics in hardened concrete
- EN 12350-7 Fresh concrete testing – Part 7: Determination of air content – pressure methods
- ASTM C 457 Test Method for Microscopical Determination of Parameters of the Air-Void System in Hardened Concrete.
- AVA – General Information, Germann Instruments, www.germann.org

Artykuł został opublikowany w materiałach konferencyjnych Konferencji Dni Betonu 2014

Tabela 4. Rodzaje i ilości stosowanych domieszek oraz właściwości mieszanek i betonów stwardniałych M i K, odmiany 1-5

OZNACZENIE BETONU	M1	M2	M3	M4	M5	K1	K2	K3	K4	K5
Domieszki, faktyczne dozowanie [% m.c.]										
Superplastyfikator polikarboksyłanowy 30%	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57
Domieszka napowietrzająca 1	0,17					0,23				
Domieszka napowietrzająca 2		0,19					0,22			
Domieszka napowietrzająca 3			0,23					0,23		
Domieszka napowietrzająca 4				0,25					0,21	
Domieszka napowietrzająca 5					0,23					0,20
Wyniki badań mieszanek										
Opad stożka po 0,5h [cm]	22,0	21,00	9,0	12,0	16,0	19,0	19,0	17,0	19,0	18,0
Napowietrzenie po 0,5h [%]	5,7	5,2	5,4	5,3	6,3	6,5	6,5	4,5	6,3	4,6
Wyniki badań charakterystyki porów powietrznych										
A [%], wg AVA	7,9	6,4	5,7	5,5	7,0	5,5	6,8	5,9	5,7	5,1
A [%], wg EN 480-11	7,7	6,2	7,1	7,1	7,2	6,4	6,5	7,8	7,8	5,8
α [mm ⁻¹], wg AVA	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
α [mm ⁻¹], wg EN 480-11	16,03	16,84	17,59	18,83	20,81	14,66	15,04	12,41	13,57	15,64
L [mm], wg AVA	0,22	0,17	0,18	0,18	0,14	0,21	0,14	0,16	0,19	0,23
L [mm], wg EN 480-11	0,23	0,26	0,21	0,19	0,29	0,28	0,28	0,28	0,26	0,29
A ₃₀₀ [%], wg AVA	1,9	2,4	2,3	2,4	3,1	1,9	3,3	2,5	2,2	1,8
A ₃₀₀ [%], wg EN 480-11	1,3	1,1	1,6	1,6	2,6	1,4	1,3	1,0	1,7	1,1
Wyniki badania stopnia mrozoodporności F150										
R [MPa] - świadków normowo, po badaniu mrozoodporności	69,3	67,4	68,0	67,8	68,2	73,5	nie badano	66,9	69,3	70,8
F 150 ubytek masy; %	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	nie badano	0,2	0,2	0,3
F 150 spadek wytrzymałości; %; normowo	8,9	-1,0	7,9	10,2	4,8	-1,7	nie badano	0,6	0,7	-1,9