

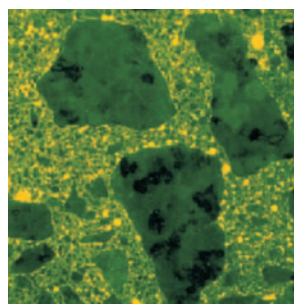
# Właściwe i patologiczne napowietrzanie betonu

*Wymagania dotyczące napowietrzania według nowej normy EN 206-1 zostały uproszczone w stosunku do wymagań normy PN-88/B-06250. Intencją Autorów normy EN 206-1 należy odczytywać jako przekonanie, że odpowiednio niski wskaźnik w/c i odpowiednio wysoka zawartość cementu i wytrzymałość betonu na ściskanie usprawiedliwia znaczne uproszczenia wymagań dotyczących napowietrzania betonu. W tym akurat miejscu nowa norma jest anachroniczna i dlatego warto wprowadzić dodatkowe postanowienia do krajowych dokumentów uzupełniających normę PN-EN 206-1: 2003 – uważa doc. dr hab. inż. Michał A. Glinicki z Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN.*

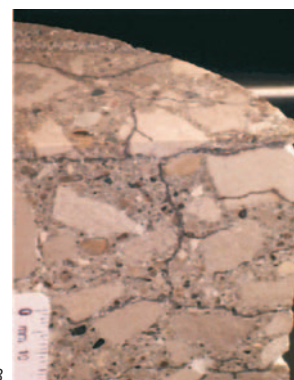
Czytelnik nowej normy PN-EN 206-1: 2003 „Beton – Część 1. Wymagania, właściwości, produkcja, zgodność” natychmiast zauważa brak bezpośrednich wymagań mrozoodporności betonu, co stanowi istotną różnicę w porównaniu z zaleceniami normy PN-88/B-06250. W zasadzie wiadomo, dlaczego tak jest: przetłumaczona na język polski norma EN 206-1 powstała jako wynik kompromisu wśród członków CEN, określanego jako „najmniejszy wspólny mianownik”, czyli minimum treści możliwej do uzgodnienia przez zespół przygotowujący i redakcyjny. Chociaż zapewnienie właściwej trwałości betonu jest przewodnim motywem tej normy, to trudno oprzeć się wrażeniu, że mrozoodporność betonu została tu potraktowana niekonsekwentnie, a nawet powierzchownie.

Co prawda wprowadzone zostały klasy oddziaływania środowiska obejmujące m.in. oddziaływanie mrozu, klasy XF1-XF4, ale wymagania w odniesieniu do betonu są ograniczone do minimalnej klasy wytrzymałości na ściskanie, maksymalnego wskaźnika wodno-cementowego, minimalnej zawartości cementu oraz wymaganego napowietrzania. W klasach ekspozycji XF2, XF3 i XF4 stosuje się wymaganie zawartości powietrza 4%, rozumianej jako minimalna zawartość powietrza w mieszance betonowej, określona metodą ciśnieniową według normy PN-EN 12350-7. Górną granicę zawartości powietrza stanowi wyspecyfikowana wartość minimalna powiększona o 4%. Kryteria zgodności dotyczące zawartości powietrza w napowietrzanej mieszance betonowej określają maksymalne dopuszczalne odchylenia pojedynczych wyników badania: -0,5% od dolnej granicy oraz +1,0% od górnej granicy. Zatem wyniki pomiarów zawartości powietrza w napowietrzanej mieszance betonowej powinny mieścić się w granicach 3,5% – 9%.

Wymagania dotyczące napowietrzania zostały uproszczone w stosunku do wymagań normy PN-88/B-06250, w której potrzebna zawartość powietrza była m.in. uzależniona od uziarnienia kruszywa (jedynie do 6% przy uziarnieniu kruszywa do 32 mm). Trzeba zwrócić uwagę, że dopuszczalna według nowej normy w klasach XF2-XF4 wartość maksymalnego wskaźnika w/c wynosi od 0,45 do 0,55, podczas gdy norma PN-88/B-06250 dopuszczała wskaźniki w/c w granicach 0,55-0,75. Ostrzejsze wymagania nowej normy dotyczą także minimalnej zawartości cementu od 300 do 340 kg/m<sup>3</sup>, gdy dotychczas wymagane minimalne zawartości cementu były nie większe niż 270 kg/m<sup>3</sup>. Intencją Autorów normy EN 206-1 należy odczytywać więc jako przekonanie, że odpo-



A



B

Lewy (A): Prawidłowo rozmieszczone pęcherzyki powietrza w betonie  
Prawy (B): Destrukcja betonu wskutek cyklicznego oddziaływania mrozu

wiednio niski wskaźnik w/c i odpowiednio wysoka zawartość cementu i wytrzymałość betonu na ściskanie usprawiedliwia znaczne uproszczenia wymagań dotyczących napowietrzania betonu. W tym akurat miejscu nowa norma jest anachroniczna i dlatego warto wprowadzić dodatkowe postanowienia do krajowych dokumentów uzupełniających normę PN-EN 206-1: 2003.

Anachronizm wymagań na zawartość powietrza w napowietrzanej mieszance betonowej wynika z tego, że od wielu lat są znane i akceptowane poglądy, że warunkiem koniecznym uzyskania odpowiedniej mrozoodporności jest właściwa ilość właściwie rozmieszczonych pęcherzyków powietrza w betonie. Poprzez właściwe rozmieszczenie rozumie się równomierną przestrzenną dystrybucję drobnych pęcherzyków powietrza, które są rozmieszczone dostatecznie blisko siebie, tak aby działały jako komory kompensujące naprężenia, powstające wskutek przyrostu objętości wody w kapilarach w wyniku zamrożenia. Taki sposób zapobiegania rozsadzaniu betonu wskutek zamrażania wody w kapilarach jest powszechnie znany (por. monografia Z. Rusina), a praktyczna implementacja tej wiedzy polega na stosowaniu środków napowietrzających do betonu. Z definicji, domieszkami napowietrzającymi są substancje umożliwiające wprowadzenie podczas mieszania określonej ilości równomiernie rozmieszczonych pęcherzyków powietrza (wg PN-EN 206-1 zwykle o średnicach 10-300 μm), które pozostają w betonie stwardniałym. W myśl normy PN-EN 934-2: 2002 wymagania dotyczące domieszek napowietrzających, zawarte w tabeli 5 tej normy, dotyczą – oprócz wytrzymałości na ściskanie betonu – zawartości powietrza w mieszance betonowej i charakterystyki rozkładu porów w stwardniałym betonie. Na betonie wzorcowym, określonym według PN-EN 480-1:1997, przeprowadza się więc sprawdzenie wskaźnika rozmieszczenia porów (ang. spacing factor), który nie powinien przekraczać 0,200 mm. Można mniemać, że skoro domieszka napowietrzająca spełnia wymagania stawiane w normie PN-EN 934-2: 2002, to jej stosowanie w każdym betonie (nie tylko wzorcowym) automatycznie zapewni właściwe rozmieszczenie pęcherzyków powietrza w betonie przy zapewnieniu właściwej objętości wprowadzanego powietrza. Takie było prawdopodobnie mniemanie Autorów normy EN 206-1, a takiemu uproszczeniu przeczą liczne wyniki badań przywołane poniżej.

Z literatury technicznej (np. z monografii Z. Rusina) wiadomo, że na napowietrzanie betonu wpływa kilkanaście czynników technologicznych, a z innych prac (np. G. Fagerlunda, M. Pigeona) wynika, że stosowanie drobnociarnistych dodatków mineralnych oraz stosowanie plastyfikatorów i superplastyfikatorów znacząco wpływa

na rozmiary i rozmieszczenie pęcherzyków powietrza w betonie. Jako przykład można podać negatywny wpływ popiołów lotnych o podwyższonej zawartości części organicznych na napowietrzanie betonu. Od niedawna badania struktury porów powietrznych w betonie prowadzone są także w Polsce – w laboratorium IPPT PAN w Warszawie; stosowana metoda badania(\*) według normy PN-EN 480-11: 2000 była przedstawiana m.in. na Konferencjach Krynickich i w kwartalniku „Drogi i Mosty” przez J. Kasperkiewicza i D. Załochę. Poniżej przedstawiam przykłady praktycznego zastosowania badania struktury porów powietrznych do diagnozowania betonów nawierzchniowych wykonanych w latach 2001-2003 na budowach w kraju. Badania struktury porów powietrznych w betonach były prowadzone zarówno na etapie projektowania mieszanki betonowej, jak też na różnych etapach budowy jako badania kontrolne. Diagnostyka betonów wbudowanych w nawierzchnie i elementy konstrukcji prowadzona była na pobranych próbkach-odwiertach.

### Nawierzchnia parkingu dwupoziomowego przed hipermarketem

Badania dotyczyły betonu w górnej płycie odkrytego parkingu dla samochodów; przeprowadzone zostały na etapie wyboru projek-

Tablica 1. Wyniki badania struktury porów powietrznych w próbkach sześciu betonów przeznaczonych na nawierzchnię parkingu

Oznaczenie betonu	Wskaźnik w/c	Zawartość cementu [kg/m <sup>3</sup> ]	$\bar{L}$ [mm]	$\alpha$ [mm <sup>2</sup> /mm <sup>3</sup> ]	A <sub>300</sub> [%]	A [%]
BP1	0,39	386	0,23	26	0,89	3,29
BP4	0,38	386	0,32	16	0,83	4,55
BP6	0,43	395	0,21	28	1,34	3,82
BP8	0,45	364	0,19	23	1,60	6,15
BP11	0,38	370	0,16	24	2,34	6,66
BP12	0,38	370	0,15	30	2,84	5,71

Przyjęto oznaczenia:

- $\bar{L}$  – wskaźnik rozmieszczenia porów według PN-EN 480-11:2000
- A<sub>300</sub> – zawartość mikroporów o średnicy  $\leq 300 \mu\text{m}$
- $\alpha$  – powierzchnia właściwa porów
- A – zawartość powietrza w stwardniałym betonie.

tu mieszanki betonowej i dostawcy betonu oraz podczas kontroli jakości wbudowanego betonu. Przedmiotem wyboru był projekt betonu klasy B37, wykonanego przy wskaźniku w/c  $\leq 0,45$ , z użyciem grysów granitowych lub bazaltowych o maksymalnym uziarnieniu do 16 mm. Porównywane mieszanki betonowe zostały napowietrzane przy zastosowaniu środków napowietrzających, spełniających wymagania odpowiednich norm. W tablicy 1 podano wybrane parametry składu sześciu porównywanych mieszanek betonowych na podstawie dostarczonych danych, tj. zawartość ce-

mentu i wskaźnik wodno-cementowy. Zamieszczone zbiorcze wyniki badania struktury porów powietrznych wskazują, że wskaźnik rozmieszczenia porów  $\leq 0,200 \text{ mm}$  – wymagany w świetle normy PN-EN 934-2: 2002 – uzyskano tylko w przypadku betonów oznaczonych BP 8, BP 11 i BP 12. Na podstawie wysokiej zawartości mikroporów o średnicy poniżej  $300 \mu\text{m}$  oraz wysokiej powierzchni właściwej porów, można wnioskować o najlepszej jakości procesu napowietrzania betonu: pęcherzyki powietrza, głównie o średnicy poniżej 0,5 mm, są rozmieszczone równomiernie i blisko siebie. Porównanie rozkładu wielkości porów w betonie pozwala jednoznacznie odróżnić właściwe i nieprawidłowe struktury porów powietrznych, co zilustrowano na rys. 1. W odróżnieniu od struktury porów powietrznych w betonie BP 12, w betonie BP 4 przeważają pęcherzyki powietrza o średnicach powyżej 0,5 mm, a zawartość mikroporów wynosi jedynie 0,8%. Taką dramatyczną różnicę struktury porów powietrznych zauważono przy różnicy zawartości powietrza niewiele przekraczającej 1%. Przeprowadzone badania umożliwiły szczegółową ocenę oferentów i dokonanie wyboru najlepszego wykonawcy.

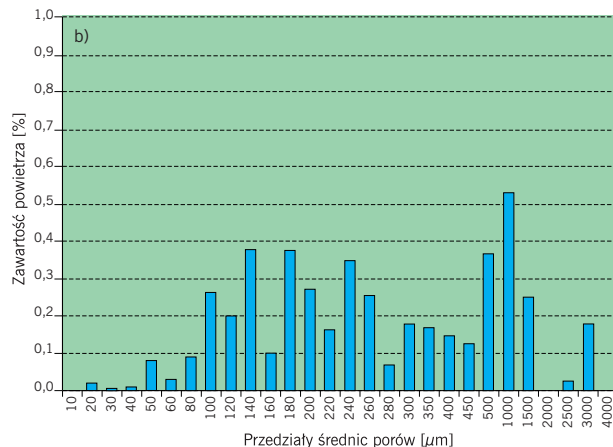
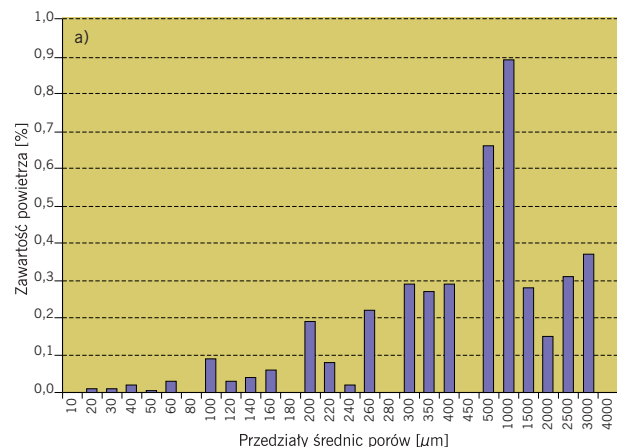
Kontrola jakości napowietrzania betonu wbudowanego w nawierzchnię parkingu, przeprowadzona po 5 tygodniach od wykonania na próbkach-odwiertach o średnicy 100 mm, potwierdziła zgodność z projektem betonu. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono wskaźnik rozmieszczenia porów w betonie wynoszący 0,11 mm, zawartość mikroporów 3,0%, oraz powierzchnię właściwą porów wynoszącą  $30 \text{ mm}^2$ . Świadczyło to o wysokiej jakości produkcji betonu i prawidłowej technologii układania i zagęszczania betonu.

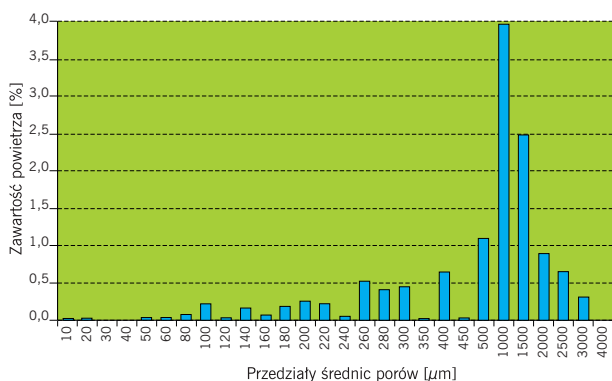
### Nawierzchnia parkingu TIR przed centrum dystrybucji

Badania dotyczyły nawierzchni parkingu dla samochodów ciężarowych, wykonanego z betonu na podbudowie z gruntu stabilizowanego cementem. Beton napowietrzany klasy B35 wykonany został m.in. z cementu CEM I 42,5 NA, superplastyfikatora i domieszki napowietrzającej. Projektowano mrozoodporność betonu F150 wg PN-B/88-06250. Według dokumentacji zmierzona zawartość powietrza w mieszance betonowej wynosiła 5%.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono całkowitą zawartość powietrza w stwardniałym betonie 13,8%, wskaźnik rozmieszczenia porów w betonie wynoszący 0,22 mm oraz powierzchnię właściwą porów wynoszącą  $9,3 \text{ mm}^2$ . Bardzo wysoka zawartość powietrza oraz niska powierzchnia właściwa porów świadczą o niewłaściwym napowietrzaniu mieszanki. Jak pokazano na rozkładzie zawartości powietrza w funkcji średnicy porów (rys. 2) przeważająca część porów w stwardniałym betonie miała średnice w granicach od 0,45 mm do 2,0 mm (a nie 0,01-0,30 mm, jak domniemano w normie PN-EN 206-1). Łączna ilość powietrza i rozkład wielkości porów była zapewne wynikiem nadmiernej ilości środka napowietrzającego albo niestabilności porów

Rys. 1. Rozkład zawartości powietrza w porach o różnych średnicach w stwardniałym betonie przeznaczonym na nawierzchnię parkingu: (a) BP 4, (b) BP 12





Rys. 2 Rozkład zawartości powietrza w porach o różnych średnicach w betonie wbudowanym w nawierzchnię parkingu TIR

powietrznych; ewentualnym przyrostem napowietrzenia w czasie transportu można by wytłumaczyć rozbieżność wyników pomiaru zawartości powietrza w stwardniałym betonie (na odwiertach z nawierzchni) i w mieszance betonowej – możliwe, że pomiaru dokonano przy węźle, a nie na placu budowy.

### Nawierzchnia na odcinku drogi krajowej

Badania przeprowadzone zostały w dwóch etapach: podczas projektowania mieszanki betonowej (na kostkach o boku 150 mm formowanych w laboratorium) oraz podczas budowy nawierzchni (na próbkach-odwiertach o średnicy 100 mm pobranych z nawierzchni). W składzie zastosowanej mieszanki betonowej B40 zastosowano m.in. cement CEM I 32,5, superplastyfikator i domieszkę napowietrzającą. Wyniki uzyskane na etapie projektowania mieszanki betonowej, na 2 próbkach wyciętych z próbek sześciennych o boku 150 mm, przedstawiono w tabelicy 3. Wyniki uzyskane na etapie budowy nawierzchni, na próbkach wyciętych z odwiertów walcowych o średnicy 100 mm, przedstawiono w tabelicy 4.

Z przeprowadzonych badań wynika, że wskaźnik rozmieszczenia porów w betonie zawierał się w granicach od 0,11 do 0,15 mm, natomiast powierzchnia właściwa porów wynosiła od 35 do 53 mm<sup>-1</sup>. Parametry struktury porów powietrznych w próbkach betonu wykonanego na etapie projektowania mieszanki, jak też betonu wbudowanego w nawierzchnię spełniają wymagania normy PN-EN 934-2 oraz Ogólnych Specyfikacji Technicznych D-05.03.04 „Nawierzchnia betonowa”, GDDKiA-2003. Jak stwierdzono, parametry struktury porów powietrznych betonu wbudowanego w nawierzchnię nie odbiegały zasadniczo od parametrów określonych na etapie projektowania mieszanki: w ciągu kilku miesięcy prowadzenia prac betonowych wskaźnik rozmieszczenia porów powietrznych w stwardniałym betonie utrzymywał się w granicach 0,11-0,16 mm. Świadczy to o wysokiej jakości produkcji mieszanki betonowej i wykonania nawierzchni.

Warto jeszcze skomentować zaobserwowane relacje między wynikami pomiarów zawartości powietrza w stwardniałym betonie A oraz wynikami pomiarów zawartości powietrza w mieszance betonowej. Regularnie obserwuje się różnice tych wielkości, są przeciw-

Tablica 3. Wyniki badania struktury porów powietrznych w próbkach betonu nawierzchniowego na etapie projektowania mieszanki betonowej

Oznaczenie próbki	$\bar{L}$ [mm]	$\alpha$ [mm <sup>2</sup> /mm <sup>3</sup> ]	A <sub>300</sub> [%]	A [%]
1A	0,11	49,3	2,00	3,61
1B	0,10	53,3	2,07	3,70
2A	0,15	41,3	1,27	2,65
2B	0,11	47,4	1,82	3,95

Przyjęto oznaczenia:

$\bar{L}$  – wskaźnik rozmieszczenia porów według PN-EN 480-11:2000

A<sub>300</sub> – zawartość mikroporów o średnicy ≤300 μm

$\alpha$  – powierzchnia właściwa porów

A – zawartość powietrza w stwardniałym betonie.

Tablica 4. Wyniki badania struktury porów powietrznych w próbkach betonu wbudowanego w nawierzchnię

Oznaczenie próbki	$\bar{L}$ [mm]	$\alpha$ [mm <sup>2</sup> /mm <sup>3</sup> ]	A <sub>300</sub> [%]	A [%]
2/1	0,11	35	3,40	6,75
2/2	0,12	46	1,81	3,66
3/1	0,12	41	2,32	4,49
3/2	0,12	48	1,80	3,29
3/3	0,12	50	1,81	3,09
3/4	0,16	38	0,94	2,66
4/1	0,12	47	2,12	3,48
4/2	0,13	43	1,93	3,24

mierzone w odmienny sposób: w betonie – pomiar bezpośredni na powierzchni przekroju, w mieszance – pomiar pośredni na podstawie zmiany wysokości słupa wody w ciśnieniowym naczyniu pomiarowym. Również inny jest zakres pomiarowy: metoda ciśnieniowa wskazuje całkowitą zawartość powietrza, w tym bardzo duże i bardzo małe pęcherzyki powietrza, które są poza zakresem pomiarowym metody według PN-EN 480-11. Przy stosowaniu różnych dodatków mineralnych do betonów wykonanych w laboratorium IPPT PAN zaobserwowano różnice zawartości powietrza określone w mieszance i w stwardniałym betonie wynoszące około 1-1,5%. Przy przemysłowej produkcji betonu różnice te mogą być większe, uwarunkowane sposobem transportu mieszanki i zagęszczania. Ucieczka powietrza wprowadzonego do mieszanki na etapie wbudowania mieszanki jest zjawiskiem spotykanym, a kontrola zawartości powietrza w mieszance nie wychwyci tej patologii. Faktyczną intencją napowietrzania jest bowiem uzyskanie właściwego rozmieszczenia porów w stwardniałym betonie, wbudowanym w konstrukcję, a nie tylko napowietrzanie mieszanki.

Na podstawie przeprowadzonych badań „in-situ” można stwierdzić, że w krajowych betonach wbudowanych w konstrukcje narażone na mróz i nieraz środki odladzające nie zawsze uzyskuje się właściwą strukturę porów powietrznych, pomimo zastosowania środków napowietrzających zgodnych z normami. Nierzadko wprowadzone powietrze zawiera pęcherzyki o średnicach powyżej 0,300 mm, które nie spełniają właściwej funkcji zapewnienia mrozoodporności, a przy średnicach pęcherzyków sięgających 2 mm znacząco obniżają wytrzymałość betonu. Jak można więc zauważyć, normowy zapis wg PN-EN 206-1, definiujący pęcherzyki powietrza wprowadzane do betonu przy napowietrzaniu: „zwykle o średnicach 10-300 μm”, nie koresponduje z wnioskami wynikającymi z praktyki. Jednocześnie sformułowane w tej normie wymagania na całkowitą objętość powietrza w mieszance (i stosowana metoda badawcza) zupełnie nie korespondują z podaną definicją, tak jakby Autorzy normy zatrzymali się w pół kroku.

Na podstawie doświadczeń zebranych w IPPT PAN, biorąc pod uwagę, że:

1. projekt normy PN-B-06265 (listopad 2003) podaje zakres stosowania cementów zgodnych z PN-EN 197-1, wskazując możliwość użycia różnych cementów do wykonania betonów w klasach ekspozycji XF2- XF4, tj. oprócz CEM I, liczne rodzaje CEM II i CEM III oraz pojedyncze rodzaje CEM IV i CEM V; dopuszcza się więc szerokie użycie cementów ze znaczną zawartością dodatków mineralnych
2. norma PN-EN 206-1 nie wyklucza stosowania dodatków mineralnych do betonu, takich jak popiół lotny i pył krzemionkowy, podaje zasady ich stosowania i ograniczenia zastąpienia cementu przy ich użyciu
3. uzyskanie niskich wskaźników w/c wymaganych w klasach środowiska XF2-XF4 na ogół wymaga zastosowania domieszek chemicznych zmniejszających ilość wody zarobowej, które – jak superplastyfikatory – mogą znacząco redukować napowietrzenie mieszanki
4. metody analizy struktury porów powietrznych w stwardniałym

REMEI



Farby do betonu



Domieszki do kostek brukowych i krawężników



Domieszki i papiery do płytek chodnikowych



Domieszki do rur i kręgów



Domieszki do palisad, pustaków



Domieszki do prefabrykatów



Domieszki do betonu towarowego i gotowych zapraw

betonie są znane, ujęte w normie PN-EN 480-11 i zostały wdrożone do stosowania, postuluję uzupełnienie krajowych dokumentów normalizacyjnych w odniesieniu do betonów stosowanych w klasach ekspozycji XF2- XF4 o wymaganiu określonej charakterystyki rozkładu porów w stwardniałym betonie według tablicy 5 normy PN-EN 934-2: 2002. Faktycznie nie będzie to nowy zapis normowy, a jedynie przedłużenie ważności wymagania sformułowanego w odniesieniu do betonu wzorcowego na prawdziwy beton, czyli kontrolowany na odwiertach z wykonanej konstrukcji. W ten sposób istotny (szczególnie w naszej strefie klimatycznej) mankament normy PN-EN 206-1: 2003 zostanie usunięty, a wprowadzony dodatkowy zapis będzie odpowiadał też wymaganiom wspomnianych OST GDD-KiA. Ponadto wprowadzenie takiego dodatkowego zapisu zbliży wymagania krajowych dokumentów odniesienia np. do wymagań niemieckich sformułowanych w dokumencie ZTV Beton-StB 01 „Uzupełniające techniczne warunki kontraktów i wytyczne w zakresie budowy betonowych nawierzchni dróg” zatwierdzonym przez Niemieckie Federalne Ministerstwo Komunikacji w 2001 roku. Praktyczną realizację dodatkowego wymagania na beton stosowany w klasach ekspozycji XF2, XF3 i XF4 trzeba sobie wyobrazić następująco:

- na etapie projektowania mieszanki betonowej napowietrzanej: oprócz wymagania minimalnej klasy wytrzymałości na ściskanie, maksymalnego wskaźnika wodno-cementowego, minimalnej zawartości cementu oraz zawartości powietrza w mieszance betonowej należy sprawdzić wskaźnik rozmieszczenia porów powietrznych w betonie stwardniałym w próbkach wykonanych podczas badań wstępnych; potwierdzenie właściwego rozmieszczenia porów powietrznych trzeba traktować jako warunek konieczny uzyskania składu mrozoodpornych betonów napowietrzanych
- na etapie kontroli jakości wbudowanego betonu: sprawdzenie wskaźnika rozmieszczenia porów powietrznych w betonie stwardniałym należy przeprowadzić na odwiertach pobranych w konstrukcji (min. 2 odwierty o średnicy 100 mm, badanie na przekrojach prostopadłych do powierzchni zewnętrznych konstrukcji, określenie wskaźnika rozmieszczenia porów w warstwie 100 mm od zewnętrznej powierzchni; postulowana częstotliwość badania: min. 1 na obiekt lub na 5000 m<sup>3</sup> betonu lub na 25.000 m<sup>2</sup> zewnętrznej powierzchni konstrukcji narażonej na mróz, wilgoć i ewentualnie środki odładzające).

Określanie wskaźnika rozmieszczenia porów powietrznych w betonie nie dotyczy oczywiście betonów nienapowietrzanych. Należy też dopuścić pominięcie sprawdzenia wskaźnika rozmieszczenia porów, gdy udowodniona jest właściwa mrozoodporność betonu na podstawie kryteriów i metod badań uzgodnionych między stronami.

Na zakończenie warto zauważyć, że wymagania normy PN-EN 206-1: 2003 w odniesieniu do jakości betonu i związane z trwałością mają charakter opisowy i recepturowy (Descriptive Standards), podczas gdy ogólna tendencja we współcześnie przyjmowanych normach polega na formułowaniu wymagań, odnoszących się do końcowych właściwości (Performance Standards). W rozpatrywanym tu przypadku różnica między tymi dwoma ujęciami zagadnienia normalizacji jest szczególnie widoczna i ważna. Na podstawie wielu badań stwierdzono, że nie wystarczy zastosować odpowiednią kompozycję betonu, aby zapewnić mrozoodporność – dopiero stwierdzenie, że mikrostruktura betonu jest właściwa, pozwala przewidywać mrozoodporność.

**doc. dr hab. inż. Michał A. Glinicki**  
**Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN**

(\* metodę opracowano w ramach Projektu Badawczego NATO SFP 97.1888, koordynowanego przez prof. A.M. Brandta w latach 1999-2003