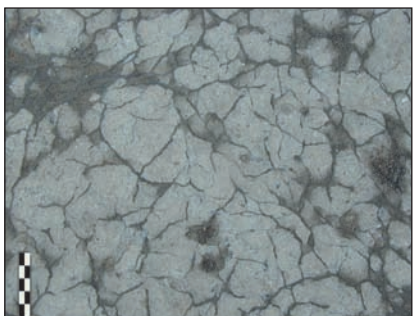


Najstarsze z eksploatacyjnych na świecie dróg o nawierzchniach betonowych mają około 100 lat. Podobnie jest z betonowymi mostami. Na terenie Polski można wskazać konstrukcje 70-, 80- czy nawet 90-letnie, w których beton również zachowuje do dzisiaj swoje właściwości na dobrym poziomie.

Niemcy twierdzą, że podstawowe zasady rządzące składem betonu stosowanego w budownictwie drogowym znane są już od ponad 70 lat [1]. Już w 1939 roku zastosowano rozwiązania, które w dużej części obowiązują do chwili obecnej. Około 50 lat temu wprowadzono technikę napowietrzania, a w ciągu ostatnich 20 lat dopracowano (zaostrzono) wymagania wobec kruszyw. Podobny proces nastąpił w innych krajach Europy Zachodniej i Północnej (kraje skandynawskie). W efekcie, większych problemów z mrozoodpornością betonów nie obserwuje się [2]. Doświadczenia amerykańskie w tym względzie są bardziej zróżnicowane. W USA na dużą skalę wykorzystywano surowce i materiały lokalne (kruszywa, cementy), często o zmiennych parametrach, starając się ograniczać koszty budowy dróg. Eksperymentowano też w większym stopniu z różnymi technologiami i konstrukcjami. W efekcie jednostkowe koszty budowy dróg amerykańskich były na ogół niższe, lecz jakościowo (w tym pod względem trwałości) czasami gorsze od europejskich.

Doświadczenia polskie płynące z budowy na niewielką, eksperymentalną skalę odcinków dróg betonowych w okresie międzywojennym i tuż po wojnie były całkiem pozytywne. Później znaczących inwestycji w tym zakresie, nie licząc ostatnich kilku lat, nie było. Obraz betonu w budownictwie komu-



Fot. 1 Siatka pęknięć na powierzchni betonu świadcząca o zaawansowanym procesie zniszczenia mrozowego

Mrozoodporność betonowych nawierzchni drogowych

nikacyjnym w świadomości Polaków został zdominowany przez nietrwałe, szybko niszczące się obiekty i elementy betonowej infrastruktury komunikacyjnej, jak chodniki, place, krawężniki, elementy mostów, budowane byle jak w ostatnim 30-leciu.

Na zdjęciach 1 do 3 przedstawiono typowe przykłady braku mrozoodporności w omawianych obiektach budowlanych.

Dlaczego tak się dzieje? Zamarzająca woda zwiększa swoją objętość o około 9%. Jeżeli pory wypełnione są wodą zdolną do zamarzania i nie ma miejsca na powstający lód, to beton ulega zniszczeniu (ciśnienie generowane podczas zamarzania wody może przekroczyć 200 MPa). Jeśli w bezpośrednim sąsiedztwie znajdują się pory puste lub wypełnione tylko częściowo, woda przepływa do nich i tam zamarza nie niszcząc materiału. Ponieważ o łatwości przemieszczania i gromadzenia wody decydują wymiary porów i ich połączenia, o trwałości betonu w kontekście wielokrotnego zamrażania i odmrażania będzie decydować specyficzna charakterystyka geometryczna porów (tablica 1). W sensie wskaźnikowym mrozoodporność betonu jest pochodną proporcji objętości pustek powietrznych nie wypełniających się wodą do objętości porów pochłaniających wodę zdolną do zamarzania w trakcie eksploatacji.

Jak wynika z danych przedstawionych w tablicy 1, pory w betonie w katego-



Fot. 2 Zniszczona otulina w płycie zbrojonej

riach mrozoodporności można podzielić na 3 grupy:

1 – pory o największych wymiarach (zwykle ponad 0,01 mm) – w typowych



Fot. 3 Uszkodzony oczep podpory mostowej

warunkach eksploatacji nie wypełniają się wodą lub wypełniają się tylko częściowo

2 – pory kapilarne o wymiarach rzędu 0,01 ÷ 1,0 μm (wypełniają się łatwo zdolną do zamarzania wodą i obniżają zdecydowanie mrozoodporność)

3 – pory najmniejsze o wymiarach po-

Tablica 1. Pory w betonie w kategoriach mrozoodporności

Nazwa	Średnica	Geneza	Właściwości wody
pory powietrzne	> 10 μm	przypadkowo lub celowo wprowadzone pęcherzyki powietrzne do mieszanki, porowate kruszywo naturalne lub sztuczne	woda swobodna, łatwo zamarzająca i odparowująca w warunkach eksploatacyjnych, umiarkowane napięcie kapilarne, pory najtrudniej wypełniające się wodą podczas eksploatacji betonu
duże pory kapilarne	0,05-10 μm	pory powstałe w wyniku odparowania nadmiaru wody zarobowej w zaczynie cementowym, typowe pory w kruszywach ze zwartych skał naturalnych	woda swobodna, łatwo zamarzająca i odparowująca, stosunkowo szybko przemieszczająca się na skutek napięcia kapilarnego, ograniczona możliwość kondensacji
małe pory kapilarne	10-50 nm	pory powstałe z nadmiaru wody zarobowej w zaczynie cementowym, pory szczelinowe w kruszywach naturalnych (np. w bazalcie)	wzrost sił adsorpcji objawiający się tendencją do kondensacji wody i wyraźnego obniżenia temperatury zamarzania, silne napięcie kapilarne
pory żelowe	< 10 nm	mikropory stanowiące około 28% objętości zhydratyzowanego cementu (1,5-4 nm), najdrobniejsze pory kapilarne (2,5-10 nm) oraz inne mikropory, w tym powstałe w strefie stykowej kruszywo-zaczyn i zbrojenie-zaczyn	silna i bardzo silna adsorpcja, zdolność do całkowitego wypełnienia się porów wodą wskutek kondensacji, obniżenie temperatury zamarzania wody poniżej -20°C

Tablica 2. Orientacyjna zawartość cementu i powietrza oraz wskaźnik wodno-cementowy [3]

Sposób układania betonu	Wartości orientacyjne			Wskaźnik wodno-cementowy
	Zawartość cementu w kg/m ³		Zawartość powietrza, %	
	Podkład betonowy	Górna warstwa betonu		
Wykończarka szynowa	320 ^{*)}	370	3,5 do 5,5	0,40 do 0,42
Wykończarka z deskowaniem szluzowym z domieszką plastyfikującą	350 ^{*)}	400	4,0 do 6,0	
Beton drogowy	350 ^{*)}	400		
Nawierzchnia betonowa o strukturze betonu pflukanego z kruszywem eksponowanym	jak wyżej ^{*)}	450		0,38

^{*)} Wartości orientacyjne odnoszące się do zawartości cementu należy zwiększyć o 15 kg/m³ w przypadku użycia ziaren kanciastych oraz materiału z recyklingu

niżej 0,01 μm (wypełniają się wodą, która nie jest zdolna do zamarzania w temperaturach do -20°C).

Inżynier jest w stanie w dużym stopniu kształtować mrozoodporność betonu poprzez kontrolę zawartości poszczególnych grup porów. I tak:

- objętość porów grupy 2 można zmniejszyć poprzez obniżenie stosunku wodno-cementowego (w/c) w mieszance betonowej oraz dobór właściwego kruszywa (kruszywo stanowi około 75% objętości betonu!)
- objętość porów powietrznych, łagodzących skutki zamarzania wody w betonie, można regulować poprzez stosowanie techniki napowietrzania (warto zauważyć, że w pewnych okolicznościach funkcje porów powietrznych mogą przejść pory powstające wskutek niedogęszczenia betonu oraz samoosuszania (przypadek betonów wysokowartościowych: w/c < 0,4).

Wyjaśnienie przedstawionych na zdjęciach 1-3 uszkodzeń jest w kontekście przedstawionych informacji bardzo proste – proporcja porów kapilarnych do

porów powietrznych była zbyt wysoka:

– wskaźnik wodno-cementowy w betonach przedstawionych na większości zdjęć wynosił w/c > 0,6, podczas gdy w betonach autostrad niemieckich z lat 30. ubiegłego wieku w/c < 0,35 (podobnie jak w dwuwarstwowych płytach chodnikowych użytkowanych do dziś w Kielcach, a produkowanych około 1936 roku)

– beton we wszystkich przypadkach nie był napowietrzany (w Polsce powszechnie nie stosowano zabiegu napowietrzania)

– przyspieszony proces destrukcji mrozowej następował również wskutek rozwarstwień pionowych i poziomych betonu w wierzchniej warstwie płyt, wywołanych sedymentacją oraz skurczem plastycznym (zdjęcia 1,2).

Rzeczywista trwałość przedstawionych na zdjęciach elementów wynosiła nie więcej niż kilka lat (od 1 roku do 5 lat). Współczesna technologia betonu oferuje możliwości kształtowania nawierzchni drogowych i mostów, przy założeniu minimalnego czasu eksploatacji 50 do 100 lat, bez konieczności wykonywania istotnych napraw. W Holandii przy budowie systemu DELTA wykonywano betony o założonej trwałości użytkowej (w tym oczywiście mrozoodporności) 200 lat. Poniżej przedstawiono dwa przykłady aktualnie stosowanych rozwiązań materiałowych umożliwiających również osiągnięcie trwałości użytkowej betonu na bardzo wysokim poziomie przy budowie konstrukcji drogowych i mostowych.

Rekonstrukcja estakady Wacker Drive w Chicago (projektowany czas eksploatacji 75 ÷ 100 lat [4])

Zabytkowa dwupoziomowa estakada długości 2,4 km biegnąca przez centrum Chicago została poddana rekonstrukcji, przy założeniu, że czas eksploatacji wyniesie 75 ÷ 100 lat. Warto przy tym zaznaczyć, że klimat i warunki eksploatacji estakady należą do najtrudniejszych, najmniej sprzyjających mrozoodporności. W tablicy 4 przedstawiono skład mieszanki betonowej, a w tablicy 5 wymagania dotyczące stwardniałego betonu.

Podsumowanie

W podsumowaniu można stwierdzić, że parametry betonu umożliwiające prognozowanie 50 ÷ 100-letniej eksploatacji bez uszkodzeń mrozowych muszą spełnić wiele warunków, z których napowietrzanie na poziomie 4 ÷ 7% oraz niska zawartość wody w stosunku do spoiwa są jednymi z najważniejszych. Drugi warunek można spełnić obniżając wartość wskaźnika wodno-cementowego (wodno-spojowego) do poziomu około 0,4 lub poniżej. Technologia betonów mrozoodpornych wymaga stosowania wysokiej jakości materiałów, dodatków i domieszek oraz precyzyjnego systemu kontroli jakości.

Na zakończenie warto zauważyć, że w żadnym z podanych przypadków nie wspomina się nawet o nasiąkliwości betonu jako kryterium jego przydatności. Kryterium nasiąkliwości zostało w Polsce, niesłusznie, uznane za jeden z podstawowych parametrów gwarantujących wysoką trwałość betonu w konstrukcjach mostowych. W efekcie wiele doskonałych rozwiązań z zakresu technologii betonu nie może znaleźć zastosowania w praktyce inżynierskiej.

Tablica 3. Wymogi odnoszące się do betonu stwardniałego [3].

Maksymalne ziarno		22 lub 23 mm	8 lub 11 mm
Mrozoodporność na środki odladzające		Odporność na mroz i środki odladzające dróg zgodnie z Normą Austriacką B 4200-10	
Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu po 28 dniach (belka 12x12x36 cm)	Sprawdzenie przydatności	≥ 6,2 N/mm ²	≥ 7,7 N/mm ²
	Sprawdzenie kontrolne i przy odbiorze	≥ 5,5 N/mm ²	≥ 7,0 N/mm ²
Wytrzymałość na ścislenie po 28 dniach (fragmenty belki po próbie zginania)	Sprawdzenie przydatności	Górna warstwa betonu ≥ 46 N/mm ² Podkład betonowy ≥ 41 N/mm ²	
	Sprawdzenie kontrolne i przy odbiorze	Górna warstwa betonu ≥ 40 N/mm ² Podkład betonowy ≥ 35 N/mm ²	
Konsystencja w zależności od technologii układania		K1 do K4	K2 do K4
Zawartość porów kulistych	Sprawdzenie przydatności	≥ 2,5 %	
	Sprawdzenie kontrolne i przy odbiorze	≥ 2,0 %	
Wskaźnik odległości porów kulistych	Sprawdzenie przydatności	≤ 0,17 mm lub 0,19 mm	
	Sprawdzenie kontrolne i przy odbiorze	≤ 0,21 mm lub 0,22 mm	

Nawierzchnia betonowa na autostradach austriackich

Ze względu na trudne warunki klimatyczne oraz bardzo wysoką jakość i trwałość, przykład zaczerpnięty z pracy [3] daje dobrą informację o zalecanym składzie mieszanki betonowej (tablica 2) oraz wymaganiach odnoszących się do betonu stwardniałego (tablica 3). Przyjmowana praktycznie trwałość nawierzchni powinna wynosić minimum 40-50 lat.

Tablica 4. Skład mieszanki betonowej [4]

Cement portlandzki (typ I, zawartość alkaliów Na ₂ O+0,658 K ₂ O<0,60%)	311 kg/m ³
Popiół lotny (klasa F)	31 kg/m ³
Pył krzemionkowy (suchy)	16 kg/m ³
Żużel wielkopiecowy (uziarnienie 100)	47 kg/m ³
Kruszywo drobne	676 kg/m ³
Kruszywo grube	1068 kg/m ³
Woda	150,8 kg/m ³
Uplynniacz (typ A)	1,6 dcm ³ /m ³
Superplastifikator (typ F)	2,1 dcm ³ /m ³
Środek napowietrzający	ilość niezbędna do napowietrzania 7% ± 1,5%
w/c	0,48
w/s*	0,37

* s - oznacza sumę masy cementu portlandzkiego oraz popiołu lotnego, żużla i pyłu krzemionkowego

Podobny komentarz można odnieść do krajowych rozwiązań normowych i obowiązujących zaleceń formalnych z zakresu doboru kruszyw w budownictwie komunikacyjnym [5].

Zbigniew Rusin

Literatura

1. Schuster F.O.: 50 lat budownictwa nawierzchni betonowych w Niemczech. Konferencja: Beton na progu nowego milenium. Polski Cement i

Stowarzyszenie Producentów Cementu i Wapna, Kraków 2000, str. 239-254

2. Report on the 1992 U.S. Tour of European Concrete Highways. AASHTO-ACPA-FHWA-PCA-SHRP-TRB (<http://international.fhwa.dot.gov>), USA, 1992

3. Sommer H.: Austriackie doświadczenia w zakresie sposobów budowy nawierzchni betonowych. Konferencja: Beton na progu nowego milenium.

Polski Cement i Stowarzyszenie Producentów Cementu i Wapna, Kraków 2000, str. 255-266

4. McGavern M.: Chicago Building Bridge to the Future. Concrete Technology Today. Portland Cement Association, November 2001, str.1-2

5. Rusin Z.: Kruszywo do betonów cementowych w nawierzchniach drogowych. Drogownictwo nr 8, 1996, 243-247.

Tablica 5. Wymagania dotyczące mieszanki i betonu stwardniałego [4]

Opad stożka (ASTM C 143)	200 mm
Opad stożka po 45 min. (ASTM C 143)	100 mm
Początek wiązania (ASTM C 403)	3 godz.
Zawartość powietrza w mieszance betonowej (ASTM C 231)	7% ± 1,5%
Zawartość powietrza w betonie stwardniałym (ASTM C 457)	7% ± 1,5%
Wskaźnik odległości porów F (max) (ASTM C 457)	0,25 mm
Wytrzymałość na ściskanie (ASTM C 39)	min. 41,4 MPa
Mrozoodporność (ASTM C 666)	$\Delta F > 90\%$ po 300 cyklach $\Delta F > 85\%$ po 500 cyklach
Mrozoodporność na złuszczenie (ASTM C 672)	Ocena zniszczeń 0 ÷ 1 po 50 cyklach
Skurcz (ASTM C 157)	$600 \cdot 10^{-5}$ po 90 dniach
Penetracja jonów chlorkowych (AASHTO T259/T260)	13-25 mm < 0,03% po 90 dniach < 0,07% po 180 dniach

Technologia betonów mrozoodpornych

W drugim kwartale bieżącego roku ukaże się nowa książka Wydawnictwa Polski Cement pt. „Technologia betonów mrozoodpornych”, której autorem jest profesor Politechniki Świętokrzyskiej Zbigniew Rusin. Autor od wielu lat zajmuje się problematyką trwałości betonów narażonych na działanie mrozu i środków odładzających.

Oczywisty jest fakt, że w naszej strefie klimatycznej każda konstrukcja betonowa narażona będzie na naturalne oddziaływanie mrozu, natomiast nie jest oczywiste, że będzie odporna na to działanie. Mamy nadzieję, że wydanie „Technologii betonów mrozoodpornych” przybliży Czytelnikom problem

trwałości mrozoowej betonu, a także pomoże w podejmowaniu trafnych decyzji dotyczących projektowania i wykonania betonów mrozoodpornych



pik

Firma MIRBUD Sp. z o.o. z Łodzi, wchodząca w skład holdingu CRH POLSKA, wprowadziła na rynek wyrób pod nazwą studnie kanalizacyjne szczelne. Produkcja została zlokalizowana w oddziale firmy w Skierniewicach, w miejscu najbardziej dogodnym zarówno pod względem logistycznym (centrum kraju), jak i dla zapowiadanych w pobliżu wielu inwestycji drogowych.

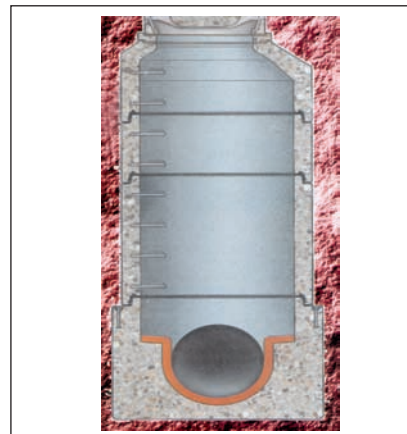
Producent po analizie rynku, która wykazała brak tego asortymentu o odpowiedniej jakości, przystąpił do wytwarzania studni ze zintegrowaną uszczelką. W tym celu zakupiono specjalną linię produkcyjną, która pozwala na wytwarzanie studni o szczelności wymaganej przez standardy europejskie. Studnia może „współpracować” z dowolnym typem orurowania. W ofercie MIRBUD-u znalazła się kompletna studnia, a więc również z częścią dolną, profilowaną zgodnie z zamówieniem. Jest to element, który dotąd często był wykonywany dopiero na placu budowy. W ten sposób wykonawca unika skomplikowanej roboci-

Szczelne studnie kanalizacyjne



Uszczelka zintegrowana

zny w niewygodnych warunkach. Studnia składana jest z kilku elementów, zapewniających projektowaną wysokość. Dzięki połączeniu elementów studni za pomocą uszczelki zapewniona zostaje pełna szczelność studni oraz skrócony czas montażu studni na placu budowy. Przejścia szczelne w kinetach wykonywane są pod dowolnymi kątami i o dowolnej średnicy. Również dna kinety wykonywane są z dowolnego materiału, zgodnie z życzeniem odbiorcy. MIRBUD zapewnia dowóz i rozładunek zamówionych elementów na wskazane miejsce. Producent podkreśla najwyższą jakość studni, którą można za-



Przekrój studni

wdzięczać najlepszej w kraju linii produkcyjnej. Linia produkuje elementy z pierścieniami górnymi i dolnymi, profilującymi zamki. Produkt ten powstał w odpowiedzi na zapotrzebowanie, jakie zgłaszały firmy wykonujące remonty i budowę dróg. Pierwsi klienci już wyrazili pozytywną opinię. Stosowanie tego typu studni pozwala na znacznie tańszą eksploatację. sab

MIRBUD Sp. z o.o.

ul. Dostawcza 6

93-231 Łódź

tel. (042) 649 12 22

www.mirbud.com.pl