

dr inż. Krzysztof Germaniuk\*  
mgr inż. Tomasz Gajda\*

# Znaczenie hydrofobizacji w ochronie betonowych konstrukcji mostowych

**H**ydrofobizacja jest działaniem z pogranicza ochrony materiałowej i powłokowej. Preparat hydrofobizujący jest наносzony na powierzchnię betonu oraz powierzchnię ścianek porów i kapilar (do pewnej głębokości), ale nie tworzy na niej szczelnej powłoki odcinającej beton od wpływu środowiska. Woda nie wsiąka w powierzchnię hydrofobową, co zabezpiecza beton przed bezpośrednim działaniem agresywnych wód opadowych. Powierzchnia hydrofobowa nie zakłóca wymiany gazowej wnętrza betonu z otoczeniem. Swobodnie przenika przez nią para wodna oraz dwutlenek węgla. Wilgoć z betonu może więc swobodnie odparować, co chroni beton przed wymywaniem wodorotlenku wapnia i powstawaniem białych wykwitów na powierzchni konstrukcji. Jednocześnie dostęp dwutlenku węgla umożliwia karbonizację warstwy powierzchniowej betonu, co jest zjawiskiem korzystnym, ponieważ wzmacnia i doszczelnia jego warstwę powierzchniową. Skarbonatyzowana warstwa powierzchniowa przekształca się w naturalną barierę, która hamuje postęp karbonizacji warstw położonych głębiej. W szczelnych betonach, klasy co najmniej C45/50 (B50), głębokość karbonizacji po 20 – 30 latach eksploatacji nie osiąga nawet 1 mm. W przypadku prawidłowej grubości otuliny (30 mm) karbonizacja warstwy powierzchniowej nie zagraża zmianą pH betonu w strefie zbrojenia przez cały okres eksploatacji obiektu.

Wadą hydrofobizacji jest jej ograniczona trwałość. Silany i siloksany, które są stosowane do wykonywania hydrofobizacji, ulegają rozkładowi po ok. 7 latach bezpośredniego oddziaływania nasłonecznienia i w efekcie powierzchnia traci właściwości hydrofobowe. Aby wydłużyć ten okres, prowadzone są prace nad hydrofobizacją wgłębną betonu, która polega na dodawaniu preparatu hydrofobizującego do mieszanki betonowej podczas jej produkcji. W efekcie zahydrofobizowane zostają powierzchnie wszystkich porów wewnątrz struktury betonu, co powoduje, że beton pozostaje niezwilżalny nawet po utracie przez jego powierzchnię właściwości hydrofobowych. Prowadzone są też badania nad opracowaniem nośnika, który wprowadzałby możliwie głęboko czynne składniki hydrofobizujące w pory betonu. Zamiast roztworów hydrofobizujących, których rozpuszczalnik szybko odparowuje, stosowane są pasty i żełe.

## Wymagania dotyczące powłok ochronnych na betonie wg ZUAT-u IBDiM nr Z/2009-03-027

W IBDiM są prowadzone prace nad zagadnieniami trwałości powłok ochronnych na betonie. Zaowocowały one opracowaniem w 2009 r. ZUAT-u IBDiM nr Z/2009-03-027 [2], który określa wymagania dotyczące powłok ochronnych dopuszczonych do stosowania na obiektach mostowych (tabela 1 i 2). ZUAT IBDiM dopuszcza opracowanie aprobat technicznych na powłoki specjalne, których program badań jest ustalany indywidualnie.

\* Instytut Badawczy Dróg i Mostów

Tabela 1. Właściwości użytkowe utwardzonych systemów do hydrofobizacji i impregnacji betonu

Właściwości	Wymagania	Metody badań wg
Stan powierzchni betonu po wykonaniu hydrofobizacji lub impregnacji, po 200 cyklach zamrażania i odmrażania w wodzie, w temperaturze: $-18 \pm 2^\circ\text{C}/+18 \pm 2^\circ\text{C}$	powłoka bez zmian	Procedura IBDiM nr PB/TM-1/13
Absorpcja kapilarna [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-0,5}$ ]	$a_k \leq 0,1$	PN-EN 1062-3

Tabela 2. Właściwości użytkowe utwardzonych powłok ochronnych cienkowarstwowych i grubowarstwowych nieprzeznaczonych do obciążenia ruchem pieszych lub kołowym

Właściwości	Wymagania	Metody badań wg
Wytrzymałość na odrywanie od podłoża betonowego metodą „pull-off”	–	PN-EN 1542 Procedura IBDiM nr PB/TM-1/6
– systemy elastyczne (ze zdolnością mostkowania rys) [MPa]	$w_{00} \geq 0,8$	
– systemy sztywne [MPa]	$w_{00} \geq 1,5$	
Stan powierzchni pokrytej powłoką po 200 cyklach zamrażania i odmrażania w wodzie, w temperaturze: $-18 \pm 2^\circ\text{C}/+18 \pm 2^\circ\text{C}$	powłoka bez zmian	Procedura IBDiM nr PB/TM-1/13
Wytrzymałość na odrywanie od podłoża betonowego metodą „pull-off”, po 200 cyklach zamrażania i odmrażania w wodzie, w temperaturze: $-18 \pm 2^\circ\text{C}/+18 \pm 2^\circ\text{C}$	–	PN-EN 1542 Procedura IBDiM nr PB/TM-1/6
– systemy elastyczne (ze zdolnością mostkowania rys) [MPa]	$w_{0m} \geq 0,6$	
– systemy sztywne [MPa]	$w_{0m} \geq 1,2$	
Absorpcja kapilarna [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-0,5}$ ]	$a_k \leq 0,1$	PN-EN 1062-3
Przepuszczalność $\text{CO}_2$ [m]	$S_{D, \text{CO}_2} \geq 50$	PN-EN 1062-6
Przepuszczalność pary wodnej [m]	$S_{D, \text{H}_2\text{O}} \leq 4$	PN-EN ISO 7783-1 PN-EN ISO 7783-2

W przypadku oceny przydatności do stosowania powłok ochronnych w budownictwie mostowym oraz oceny trwałości zabezpieczeń za najważniejsze uznano następujące właściwości:

- przyczepność do podłoża po pełnym utwardzeniu powłoki (wg PN-EN 1542 lub procedury IBDiM nr PB/TM-1/6);

- przyczepność do podłoża po 200 cyklach zamrażania i odmrażania w wodzie w temperaturze  $-18^\circ\text{C}/+18^\circ\text{C}$  (wg PN-EN 1542 lub procedury IBDiM nr PB/TM-1/6);

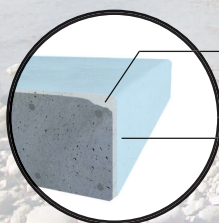
- ocena stanu powłoki po 200 cyklach zamrażania i odmrażania w wodzie w temperaturze  $-18^\circ\text{C}/+18^\circ\text{C}$  (wg procedury IBDiM nr PB/TM-1/13).

Badanie mrozoodporności jest wykonywane zgodnie z normą PN-88/B-06250 *Beton zwykły*.

Prace nad ZUAT-em IBDiM nr Z/2009-03-027 zostały ukończone mimo ustanowienia europejskiej normy zharmonizowanej

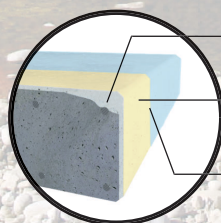


Naprawa konstrukcji betonowej  
(rozwartość rysy do 0,15 mm):



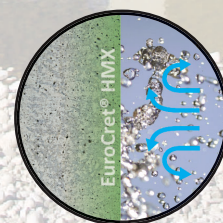
Ubytek wypełniony  
środkiem  
**EuroCret® Unispachtel**  
Powierzchnia  
zabezpieczona środkiem  
**EuroCret® Color Flex**

Naprawa elementu konstrukcji  
betonowej, np. gzymsu mostu  
(rozwartość rysy do 0,30 mm):



Ubytek wypełniony środkiem  
**EuroCret® 20**  
Powierzchnia zabezpieczona  
środkiem **EuroCret® Elastocryl**  
Powierzchnia zabezpieczona  
środkiem **EuroCret® Color Flex**  
lub **EuroCret® Color Super Flex**

System hydrofobizacji betonu  
(penetracja w głąb betonu 3-6 mm,  
stężenie hydrofobizatora 98%)



## Kompleksowa renowacja konstrukcji betonowych za pomocą produktów z serii EuroCret® firmy P&T Zaprawy Techniczne



Powierzchnia betonowa niezabezpieczona  
środkiem hydrofobizującym



Powierzchnia betonowa zabezpieczona  
standardowym środkiem hydrofobizującym

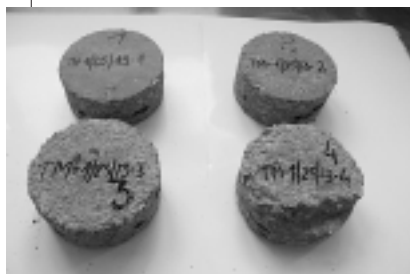


Głębokość wnikania hydrofobizatora  
**EuroCret® HMX**

PN-EN 1504-2 *Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych – Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności – Część 2: Systemy ochrony powierzchniowej betonu*. Norma ta wprowadza badanie „kompatybilności termicznej powłok”, które polega na określeniu przyczepności powłoki do podłoża po 50 cyklach zamrażania i odmrażania. Badanie jest wykonywane wg normy PN-EN 13687-1 *Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych – Metody badań – Oznaczanie kompatybilności cieplnej – Część 1: Cykliczne zamrażanie-rozmrażanie przy zanurzeniu w roztworze soli odladzającej*.

## Wyniki badań kompatybilności termicznej materiałów do hydrofobizacji betonu

Pierwsze badania kompatybilności termicznej powłok i zapraw wg PN-EN 13687-1 wykonane przez autorów artykułu wykazały, że cykliczne zamrażanie próbek w roztworze soli nasyconej prowadzi do zmiany powierzchniowej badanej zaprawy lub powłoki. W części wykonanych badań przyczepność zaprawy naprawczej lub powłoki ochronnej po 50 cyklach zamrażania i odmrażania w roztworze nasyconym soli była mniejsza niż wartość wg PN-EN 1504-3 *Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych – Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności – Część 3: Naprawy konstrukcyjne i niekonstrukcyjne* i PN-EN 1504-2. Roztwór soli nasyconej destrukcyjnie oddziałuje na beton oraz na powierzchnie materiałów do naprawy betonu i do wykonywania powłok ochronnych. Najbar-



**Wyniki badania jakościowego kompatybilności termicznej wg PN-EN 13687-1; próbki 1 i 2 (rząd górny) przedstawiają beton zahydrofobizowany; próbki 3 i 4 (rząd dolny) przedstawiają beton niepoddany procesowi hydrofobizacji**

dziej jednoznaczne rezultaty badania kompatybilności termicznej uzyskaliśmy w badaniach jakościowych materiału do hydrofobizacji betonu. Beton zahydrofobizowany wykazał znacznie mniejsze uszkodzenia powierzchni po przeprowadzeniu wymaganej liczby cykli zamrażania i odmrażania w porównaniu z tym samym betonem nie- poddanym zabiegowi hydrofobizacji (fotografia).

## Trwałość betonu

Dotychczasowe doświadczenia wskazywały na decydujące znaczenie mrozoodporności betonu jako czynnika determinującego jego trwałość. Minimalną mrozoodporność betonu określa się na poziomie F150 wg PN-88/B-06250. Obecnie zdarza się, że betony mostowe nie spełniają wymagań mrozoodporności. Badania próbek pobranych z konstrukcji wykazały znaczny przyrost wytrzymałości doraźnej betonu wbudowanego w konstrukcję, powyżej wymaganej klasy betonu, a jednocześnie spadek wytrzymałości betonu po badaniu mrozoodporności o ponad 20% wg PN-88/B-06250. Często zdarza się, że beton poddany badaniu mrozoodporności, pomimo niedopuszczalnego spadku wytrzymałości, spełnia wymagania wytrzymałościowe dotyczące projektowanej klasy. Zjawisko wymaga przeprowadzenia dalszych kompleksowych badań.

Nasze doświadczenia zebrane przy wykonywaniu ekspertyz wskazują na powiązanie zjawiska braku mrozoodporności betonu z niewłaściwą strukturą porów w betonie. Problemy mrozoodporności częściej dotyczą betonów nienapowietrzonych oraz takich,

gdzie napowietrzenie okazało się zbliżone do dolnej granicy zawartości powietrza w betonie, która wynosi 3%. Dodatki napowietrzające ułatwiają równomierne rozprowadzenie powietrza w świeżej mieszance betonowej i uzyskanie odpowiedniej struktury porów. W prawidłowo wykonanym betonie:

- zawartość mikroporów  $A_{300}$  powinna przekraczać 1%;
- wskaźnik rozmieszczenia porów L powinien być mniejszy od 0,20 mm.

Gdy zawartość powietrza w mieszance betonowej jest zbyt mała lub gdy powietrze jest rozprowadzone nierównomiernie, to w utwardzonym betonie powstaje zbyt mała liczba mikroporów  $A_{300}$  i są one usytuowane zbyt daleko od siebie. Podczas cyklicznego zamrażania i odmrażania betonu w porach nie ma dostatecznie dużej przestrzeni, w której mogą powstać cząsteczki lodu bez wywierania zbyt dużego ciśnienia na ścianki porów, które niszczy strukturę betonu. Zjawisko wymaga przeprowadzenia dokładniejszych badań, które potwierdziłyby korelację między strukturą i rozkładem porów w dojrzłym betonie a wynikami badania mrozoodporności.

Podjęmując decyzję o ochronie betonowego obiektu mostowego, trzeba mieć na uwadze, że nie powinno się układać powłok ochronnych na konstrukcjach częściowo zasypanych gruntem oraz nie można zabezpieczyć całej powierzchni betonu, bowiem do niektórych miejsc nie ma dostępu, np. do wnętrza szczelin dylatacyjnych. Nie jest też możliwe wykonanie idealnie szczelnej powłoki. Naszym zdaniem najlepszym zabezpieczeniem powierzchni betonu jest hydrofobizacja, powszechnie stosowana w Niemczech, Szwecji, Austrii, Szwajcarii i we Francji. Konstrukcje betonowe zabezpieczono metodą hydrofobizacji m.in. na autostradzie A1 na odcinku od Gdańska na południe aż do obwodnicy Skoczowa.

## Wnioski

O ocenie przydatności do stosowania powłok ochronnych na betonowe obiekty mostowe decyduje przyczepność do podłoża oraz odporność powłoki na działanie mrozu (wielokrotnego zamrażania i odmrażania). Czynnikiem decydującym o trwałości betonu jest właściwy rozkład porów w betonie, który można osiągnąć przez odpowiednie napowietrzenie mieszanki betonowej. Oznaczenie korelacji między liczbą i rozkładem porów  $A_{300}$  a mrozoodpornością betonu wymaga dalszych badań. W przypadku obiektów mostowych można zlecać stosowanie ochrony konstrukcyjnej, czyli wodoszczelnego i mrozoodpornego betonu wysokiej klasy.

## Literatura

- [1] Germaniuk K.: Izolacje przeciwwodne i systemy odwodnienia w mostach, Seminarium Szkoleniowe: Izolacje przeciwwodne i systemy odwodnienia w mostach, Zakład Mostów Politechniki Warszawskiej, Centrum Kształcenia Ustawicznego w Inżynierii Komunikacyjnej IKKU, Warszawa, 17.02.2010, s. 1 – 14.
- [2] Germaniuk K., Gajda T., Królikowska A.: Wyroby i systemy do ochrony powierzchniowej konstrukcji betonowych, Zalecenia IBDiM Udzielania Aprobata Technicznych nr Z/2009-03-027, Seria I, Zeszyt nr 78, IBDiM, Warszawa 2010.
- [3] Germaniuk K.: Powłoki ochronne na mostach żelbetowych, Materiały Budowlane nr 2/2011, s. 14 – 15.
- [4] Łągoda G., Gajda T.: Badania materiałów do napraw konstrukcji mostowych. XXV Konferencja Naukowo-Techniczna Awaryjne Budowlane, Międzyzdroje 2011 r., s. 1127 – 1134.
- [5] Łągoda G., Gajda T.: Research on concrete repair materials, Konferencja SEMC 2013, Kapsztad 2013 r., s. 879 – 881.
- [6] Procedura badawcza IBDiM PB/TM-1/6 Pomiar przyczepności przez odrywanie.
- [7] Procedura badawcza IBDiM PB/TM-1/13 Ocena stanu powłoki (lub pracy) ochronnej po próbie mrozoodporności.
- [8] Procedura badawcza IBDiM PB-TM-X5 Oznaczanie wskaźnika ograniczenia chłonności wody.