

# Korozja chlorkowa – niedoceniany czynnik destrukcji w garażach wielostanowiskowych

dr inż. Lesław Hebda, Doradca Techniczny Dorota Hebda, Piaseczno, mgr inż. Daniel Białecki, mgr inż. Marcin Majewski, Top Building Sp. z o.o., Warszawa

## 1. Wprowadzenie

Do wnętrza garaży wielostanowiskowych (podziemnych, nadziemnych) w okresie zimowym w naszym kraju wwożone jest błoto pośniegowe zawierające chlorek sodu lub chlorek wapnia. Obydwie te sole mogą być szkodliwe dla betonu tylko w stężonych roztworach [1]. Natomiast jony chlorkowe, niezależnie od stężenia, mogą wnikać w strukturę niezabezpieczonej powierzchni betonu. Szybkość wnikania jonów chlorkowych rośnie wraz ze wzrostem stężenia roztworu chlorków przy powierzchni betonu, przepuszczalności betonu, zawartości wilgoci, a także rys w betonie. Dyfundujące jony chlorkowe w konstrukcjach żelbetowych, wcześniej czy później, pokonują otulinę i docierają do poziomu stali zbrojeniowej. Obecność chlorków w otoczeniu stali zbrojeniowej prowadzi do uszkodzenia warstewki pasywnej otaczającej pręt zbrojeniowy i – w obecności wilgoci i tlenu – do korozji stali [2]. W takiej sytuacji procesy korozyjne stali zachodzą niezależnie od alkaliczności otaczającego ją betonu. Fakt występowania dyfuzji jonów chlorkowych w strukturze konstrukcji żelbetowych w garażach wielostanowiskowych jest często lekceważony lub wręcz pomijany, nawet w pracach ekspertyzowych, wykonywanych nawet przez uznane ośrodki naukowe. Celem niniejszego artykułu jest zwrócenie szczególnej uwagi na przeprowadzanie w trakcie tworzenia opinii technicznych i ekspertyz badania zawartości chlorków w betonie i głębokości stopnia karbonatyzacji otuliny betonowej oraz stosowania europejskiej zharmonizowanej normy PN-EN 1504-9 [3] w rozwiązaniach technicznych z zastosowaniem następujących zasad i metod:

- elektrochemiczna realkalizacja skarbonatyzowanego betonu (zasada 7, metoda 7.3);
- elektrochemiczne usunięcie chlorków (zasada 7, metoda 7.5);
- ochrona katodowa (zasada 10);

## 2. Korozja zbrojenia inicjowana chlorkami

Przebieg korozji chlorkowej jest złożonym procesem, który opisywany jest różnymi modelami [4]. W jednym z nich przyjmuje się, że jony chlorkowe powodują przebicie warstewki pasywnej i rozwój korozji wżerowej. Jest

to powodowane samoaktywacją słabych miejsc powstających na wtrąceniach obcych faz. W nowszych modelach przyjmuje się, że wniknięcie jonów chlorkowych może spowodować zmniejszenie zawartości wody w warstwie pasywnej na żelazie. W miejscu uszkodzenia warstewki tlenkowej zachodzi reakcja anodowa, w wyniku której jony żelaza przechodzą z sieci krystalicznej do roztworu porowego. Wraz z tą reakcją w innych punktach powierzchni stali zbrojeniowej przebiega reakcja katodowa depolaryzacji tlenowej. Te reakcje elektrochemiczne wywołują na prętach stalowych zróżnicowane potencjały elektrodowe i działanie lokalnego ogniwa korozyjnego. Należy przy tym pamiętać, że korozja chlorkowa zachodzi także w roztworach o wysokim odczynie zasadowym i bardzo jej sprzyjają rysy propagujące od powierzchni betonu w głąb jego struktury. Z tego też względu dopuszczalna zawartość chlorków jest normowo ograniczana [5] maksymalnie do 0,4% masy cementu w przypadku zwykłych konstrukcji żelbetowych oraz maksymalnie 0,2% masy cementu w przypadku konstrukcji sprężonych i 0,1% w przypadku betonu skarbonatyzowanego [13].

## 3. Przykłady skażenia chlorkami w elementach konstrukcji żelbetowych parkingów

### Przykład I

Niewielki garaż podziemny, znajdujący się pod częścią budynku mieszkalnego o 7 kondygnacjach nadziemnych, eksploatowany od końca 2005 roku.

Z trzech słupów C1, C2 i C3 zostały pobrane metodą odwiertu próbki betonu z warstwy przypowierzchniowej, do głębokości 1–3 cm. Próbki te zostały pobrane z wysokości około 3 cm powyżej poziomu istniejącego betonu posadzkowego. Dodatkowo w słupie C1 pobrano próbki z wysokości 20 cm powyżej poziomu posadzki (próbka C1.2.) oraz z wysokości około 50 cm powyżej poziomu posadzki (próbka C 1.3). Określenie zawartości chlorków w betonie przeprowadzono metodą miareczkowania za pomocą zestawu Merck. Wyniki zostały przedstawione w tabeli 1.

Zgodnie z [5, 6] dla żelbetu graniczna wartość zawartości chlorków w betonie odpowiada 0,4% masy cementu. Przy założeniu, że na 1 m<sup>3</sup> betonu przypada 400 kg cementu,

**Tabela 1.** Wyniki badań zawartości chlorków w podstawach słupów

Miejsce pobrania próbki	Opis próby	Cl <sup>-</sup> [%]
Słup	C1.1	1,120
Słup	C1.2	1,160
Słup	C1.3	0,072
Słup	C2	0,600
Słup	C3	0,200

a gęstość betonu wynosi 2300 kg/m<sup>3</sup> (wyznaczona empirycznie), wartość graniczna zawartości chlorków w masie betonu dla żelbetu wynosi 0,070%. Przy założeniu zawartości cementu na poziomie 300 kg, wartość graniczna wynosi 0,052%. W każdej z badanych próbek stwierdzono wyższą zawartość jonów chlorkowych niż jest to dopuszczalne. W słupie C1 stężenie chlorków na wysokości 3 cm i na wysokości 20 cm było podobne, a w skrajnym przypadku dopuszczalne stężenie tych jonów zostało przekroczone ponad 20 razy.

**Przykład II**

Garaż podziemny, dwupoziomowy w budynku biurowym. Obiekt użytkowany od 2008 roku. Strop międzykondygnacyjny w formie monolitycznej płyty żelbetowej, zabezpieczonej od góry posadzką z żywicy syntetycznej, bez żadnych warstw izolacyjnych. W projekcie nie przewidziano na tym stropie żadnego odwodnienia. W trakcie oględzin na spodniej powierzchni stropu zaobserwowano liczne ślady zacieków i wysoleń. Na tej powierzchni, z warstwy przypowierzchniowej, w miejscach występowania rys, z głębokości 1–3 cm zostało pobranych 20 szt. próbek betonu w celu zbadania zawartości chlorków. Tylko w dwóch przypadkach na 20 stężenie chlorków w betonie było poniżej wartości dopuszczalnej dla konstrukcji żelbetowych, a średnia zawartość chlorków pobrana z osiemnastu punktów przekraczała czterokrotnie dopuszczalną normę.

**Tabela 2.** Wyniki badań na spodnich powierzchniach płyt

L.p.	Oznaczenie próbki	pH	Cl <sup>-</sup> [%]	Oszacowana wartość [Cl <sup>-</sup> ]/[OH <sup>-</sup> ]	Wartość progowa kryterium Hausmanna
1	Korytarz R2 poz. C/2	11	0,15	8	przekroczona >0,6
2	Korytarz poz. C/1	10	0,30	163	przekroczona >0,6
3	Korytarz poz. 2	10	0,10	50	przekroczona >0,6
4	Korytarz poz. 2B/1	12	0,13	1	przekroczona >0,6
5	Korytarz poz. 1/2	12	0,05	0	nieprzekroczona <0,6
6	Korytarz poz. 1/1	12	0,25	1	przekroczona >0,6
7	Korytarz poz. A/3	11	0,33	18	przekroczona >0,6
8	Korytarz poz. A/4	11	0,30	16	przekroczona >0,6
9	Korytarz poz. A/4	12	0,13	1	przekroczona >0,6

**Przykład III**

Garaż wielopoziomowy, częściowo zagłębiony w gruncie, czteropoziomowy, przy budynku biurowym. Obiekt jest eksploatowany od ponad 20 lat bez remontu. W trakcie oględzin i wykonanych odkrywek zaobserwowano na spodniej powierzchni płyt stropowych ślady zacieków, wysoleń i korozji zbrojenia. W ramach prac diagnostycznych wykonano badanie zawartości chlorków w słupach i spodniej warstwie płyt stropowych na różnych poziomach oraz górnej warstwie płyty na najniższej (poniżej poziomu terenu) kondygnacji. Materiał do badania pobrano z warstwy przypowierzchniowej do 2 cm (a) oraz z głębokości 4–6 cm (b).

Przekroczenia dopuszczalnych stężeń jonów chlorkowych odnotowano we wszystkich płytach stropowych od spodu oraz w płycie fundamentowej. Natomiast u podstawy słupów na wyższych kondygnacjach przekroczenia dopuszczalnych stężeń były sporadyczne. Wyniki zawartości chlorków powyżej normy stwierdzono w sześciu próbkach na czterdzieści cztery pobrane. Na poziomie -1 parkingu, gdzie trudniej o odparowanie i usunięcie odcieków z samochodów, ujawniły się liczne przekroczenia dopuszczalnych normowych zawartości chlorków – w 16 próbkach na 23 badane. W przeprowadzonej 4 lata wcześniej, przez uznaną jednostkę badawczą, ekspertyzie tego garażu, występującą korozję stali zbrojeniowej przypisano karbonatyzacji betonu. W momencie prowadzenia opisanych powyżej prac diagnostycznych średnia grubość otuliny betonowej dolnych siatek zbrojeniowych płyt stropowych wynosiła 26–28 mm, a średnia głębokość karbonatyzacji wynosiła 17 mm, wobec tego karbonatyzacja nie mogła być przyczyną korozji stali zbrojeniowej, a zatem przyczyną były chlorki.

**Przykład IV**

Strop nad dwupoziomowym garażem podziemnym w części wykonany z płyt prefabrykowanych strunobetonowych o rozpiętości 11 m. W tej części stropu, w poziomie terenu, znajduje się podjazd pod budynek. Z powodu błędów wykonawczych i w konsekwencji nieszczelności izolacji

przeciwwodnej następują przecieki z poziomu podjazdu do wnętrza garażu (rys. 1). Wyniki badań pH betonu, stężenia chlorków oraz oszacowany stosunek  $[Cl^-]/[OH^-]$  według kryterium Hausmanna [9] przedstawiono w tabeli 2.

Zgodnie z [5, 6] dla żelbetowych konstrukcji sprężonych maksymalna graniczna wartość zawartości chlorków w betonie wynosi 0,2% masy cementu. Przy założeniu, że na 1 m<sup>3</sup> betonu przypada 400 kg cementu, a gęstość betonu wynosi 2300 kg/m<sup>3</sup>, wartość graniczna zawartości chlorków w masie betonu dla żelbetu wynosi 0,034%. We wszystkich punktach pomiarowych nastąpiło znaczne przekroczenie dopuszczalnych stężeń jonów chlorkowych. Równocześnie stwierdzono w tych miejscach wysokie pH betonu.



**Rys. 1.** Ślady przecieków widoczne na stropie z płyt strunobetonowych

Występująca w żelbetowych elementach konstrukcyjnych garaży wielopoziomowych korozja zbrojenia w znacznej części przypadków spowodowana jest oddziaływaniem jonów chlorkowych. Chlorki pochodzą z roztopionego błota pośniegowego wwożonego przez samochody. Szybkość ich wnikania rośnie wraz ze wzrostem stężenia przy powierzchni betonu, przepuszczalności betonu, zawartości wilgoci, a także zarysowania. Problem zarysowania płyt stropowych jest szczególnie istotny w wielopoziomowych garażach podziemnych. Rysy w tych elementach powstają na skutek zjawisk skurczowych oraz obciążeń termicznych w trakcie budowy obiektu lub/i rzadziej w czasie użytkowania. Obciążenia tego typu zazwyczaj nie są uwzględniane na etapie projektowania, ponieważ zakłada się pracę takich elementów w stałych warunkach termicznych. W przypadku klasy ekspozycji betonu przypisanej parkingom – XD3 [5], [7] dopuszczalne rozwarcie rysy wynosi 0,3 mm [7].

#### 4. Naprawa konstrukcji żelbetowych skażonych chlorkami

Kwestię napraw konstrukcji żelbetowych reguluje bardzo dokładnie europejska zharmonizowana norma PN-EN 1504-9 [3].

Zgodnie z tym dokumentem, w przypadku wystąpienia korozji chlorkowej, planując naprawę skażonego elementu należy się kierować następującymi zasadami:

- Zasadą nr 7: Utrzymanie lub przywrócenie stanu pasywnego stali zbrojeniowej,
- Zasadą nr 8: Podwyższenie oporności elektrycznej otuliny betonowej,
- Zasadą nr 9: Kontrola obszarów katodowych,
- Zasadą nr 10: Ochrona katodowa,
- Zasadą nr 11: Kontrola obszarów anodowych.

Można te zasady ze sobą łączyć lub stosować oddzielnie, a ostateczna decyzja należy do projektanta i jest spowodowana zawsze indywidualnym podejściem zależnym od stanu destrukcji konstrukcji płyty parkingu oraz ekonomią wykonania naprawy.

Przykładem zastosowania ochrony katodowej jest realizacja w parkingu podziemnym w budynku wielorodzinnym z 2001 roku, w którym doszło do uszkodzeń na stropie pośrednim oraz podciągach żelbetowych (rys. 2). W trakcie prac projektowych dokonano dokładnych oględzin konstrukcji oraz pobrano próbki do badań diagnostycznych sprawdzających zawartość chlorków i poziom karbonatyzacji. Wyniki wykazały przekroczenie dwukrotne normowych zawartość chlorków w stosunku do masy cementu w płycie stropowej oraz podciągach. Pomierzona wartość pH otuliny przy użyciu pH-metru z płyty stropowej na głębokości 3 cm wyniosła 11,1. Również zgodnie z kryterium Hausmanna [9] pokazującym rozpoczęcie procesów korozyjnych na powierzchni stali zbrojeniowej, iloraz stężenia jonów chlorkowych i wodorotlenowych był wielokrotnie większy niż graniczne 0,6.

Po przeanalizowaniu wyników badań oraz możliwych kosztów naprawy w zaleceniach naprawczych podano metody naprawy stropu oraz podciągu, powołując się na normę PN-EN 1504-9 [3] wraz z zasadą 3 metodą 3.1 „Ręczne nakładanie zaprawy naprawczej” oraz zasadą 10 metodą 10.1 „Ochrona katodowa”. Ochrona katodowa przy zastosowaniu protektorów cynkowych polega na stworzeniu ogniwa galwanicznego składającego się ze stali zbrojeniowej i protektora cynkowego o potencjale korozyjnym bardziej ujemnym (około -700 mV) od potencjału stali zbrojeniowej (około -400 mV). W tak utworzonym ogniwie płynie prąd z protektora do metalu chronionego czyli stali zbrojeniowej. W związku z tym, że w wytworzonym ogniwie protektor staje się anodą, a stal zbrojeniowa katodą, to na anodzie dochodzi do reakcji utleniania, natomiast na stali zbrojeniowej dochodzi do reakcji redukcji i tym samym nie dochodzi do procesów korozyjnych.

W przypadku wykonywania remontów konstrukcji, w których beton jest skażony chlorkami, a otulina skarbonatyzowana, naprawy wykonywane tylko przy zastosowaniu materiałów naprawczych nie są skuteczne. W wymaganiach normowych znajdują się ograniczenia dotyczące zawartości jonów chlorkowych w zaprawach naprawczych

do uzupełniania ubytków w betonie. W momencie w którym w naprawianej konstrukcji żelbetowej dojdzie do kontaktu cieczy, jaka znajduje się w porach betonu i zawiera chlorki, z cieczą z porów świeżej zaprawy naprawczej bez chlorków, zgodnie z zasadą wyrównania stężeń roztworów dojdzie do migracji chlorków do świeżej zaprawy napraw-



Rys. 2. Widok na skorodowany spód stropu

czej. Doprowadzi to do korozji „tradycyjnie naprawionego” zbrojenia. W celu doboru liczby protektorów cynkowych do ochrony katodowej zbrojenia musimy znać średnicę oraz długości prętów zbrojeniowych do ochrony, klasę ekspozycji według normy PN-EN 206-1 [5] oraz zakładaną liczbą lat ochrony. Po obliczeniu liczby potrzebnych protektorów zalecane jest takie rozmieszczenie protektorów, aby zapewniony był równomierny rozdział prądu na całej długości pręta zbrojeniowego.



Rys. 3. Widok na spód stropu z zamontowanymi protektorami cynkowymi

Podczas wykonywanego remontu skuto i usunięto skażoną otulinę betonową od spodu stropu. Stal zbrojeniowa została oczyszczona mechanicznie. Następnie całą powierzchnię w miejscu napraw stropu od dołu zabezpieczono inhibitorem

korozji TopGard Fe zgodnie z PN-EN 1504-9 [3] i zasadą 11 metodą 11.3 „Stosowanie inhibitorów korozji na lub w betonie”. Oczyszczone pręty zbrojeniowe zostały zabezpieczone poprzez montaż protektorów cynkowych TopZinc RS 70 o masie rdzenia 70 gram (rys. 3). Po wykonanych pomiarach ciągłości elektrycznej oraz rezystancji pomiędzy protektorami a chronionym zbrojeniem została wykonana naprawa przy użyciu materiałów naprawczych PCC zgodnie z metodą 3.1 „Ręczne nakładanie zaprawy naprawczej” oraz naniesiono barwne powłoki antykorozyjne.

## 5. Podsumowanie

W ostatnim dwudziestoleciu w Polsce wybudowano szereg garaży wielostanowiskowych (podziemnych, nadziemnych), które przez wiele lat nie były naprawiane lub były naprawiane nieskutecznie i obecnie wymagają przeprowadzenia remontów. Podczas wykonania opinii technicznych, ekspertyz oraz projektów należy zwrócić szczególną uwagę na badania zawartości jonów chlorkowych w konstrukcji oraz głębokość skarbonatyzowania otuliny betonowej. Podczas napraw konstrukcji garaży wielostanowiskowych, w których zostały przekroczone normowe wartości skażenia jonami chlorkowymi, otulina betonowa została skarbonatyzowana, należy dodatkowo wdrażać zgodne z europejską zharmonizowaną normą PN-EN 1504 [3] inne niż tradycyjne metody napraw konstrukcji, tj.:

- elektrochemiczną realkalizację skarbonatyzowanego betonu (zasada 7, metoda 7.3);
- elektrochemiczne usunięcie chlorków (zasada 7, metoda 7.5);
- ochronę katodową przy zastosowaniu protektorów cynkowych (zasada 10).

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Gruener M., Korozja i ochrona betonu, Wydawnictwo Arkady, Warszawa, 1983
- [2] Czarnecki L., Emmons P. H., Naprawa i ochrona konstrukcji betonowych, Polski Cement, Kraków, 2002
- [3] PN-EN 1504: Wyroby i systemy do ochrony i naprawa konstrukcji betonowych. Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności
- [4] Zybura A., Zabezpieczanie konstrukcji betonowych metodami elektrochemicznymi, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2003
- [5] PN-EN 206: Beton – Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
- [6] Zybura A., Diagnostyka konstrukcji żelbetowych. Badania korozji zbrojenia i właściwości ochronnych betonu, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2011
- [7] PN-EN 1992-1-1 Eurokod2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków
- [8] Czarnecki L., Łukowski P., Garbacz A., Naprawa i ochrona konstrukcji z betonu, Komentarz do PN-EN 1404, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2017
- [9] Fegerlund G., Trwałość konstrukcji żelbetowych, Warszawa, 1997
- [10] Ściślewski Z., Ochrona konstrukcji żelbetowych, Warszawa, 1999
- [11] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r. W sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie (Dz.U. 2000 nr 63, poz. 735)