

Aktywne sposoby wzmocniania i zabezpieczania konstrukcji żelbetowych

Dr inż. Lesław Hebda, mgr inż. Krzysztof Górski, mgr inż. Mariusz Piętka, Freyssinet Polska Sp. z o.o.

1. Wprowadzenie

Konstrukcje żelbetowe są coraz częściej wzmocniane ze względu na zmiany sposobu użytkowania, ujawniane błędy projektowe, degradację wskutek korozji. Sięga się wówczas po najprostsze rozwiązania: zwiększenie przekroju przez dobetonowanie, dodatkowe podparcie elementami stalowymi lub przyklejanie zbrojenia w postaci taśm lub siatek z włókna węglowego. Rzadko wykorzystywaną alternatywą, z uwagi na brak doświadczenia w projektowaniu i powszechnym przekonaniu o wysokim koszcie, są wzmocnienia polegające na dodatkowym sprężeniu konstrukcji. Jeżeli wzmocnieniu towarzyszy reprofiliacja betonu, to na odsłonięte pręty są nakładane powłoki, co powinno być skuteczne, trwałe i niedrogi. Zdarza się, że korozja zbrojenia pojawia się szybko w sąsiedztwie naprawianej części konstrukcji. Przypisywane jest to, nie zawsze słusznie, niedokładności wykonania naprawy.

2. Dopreżenie jako aktywny sposób wzmocnienia konstrukcji żelbetowej

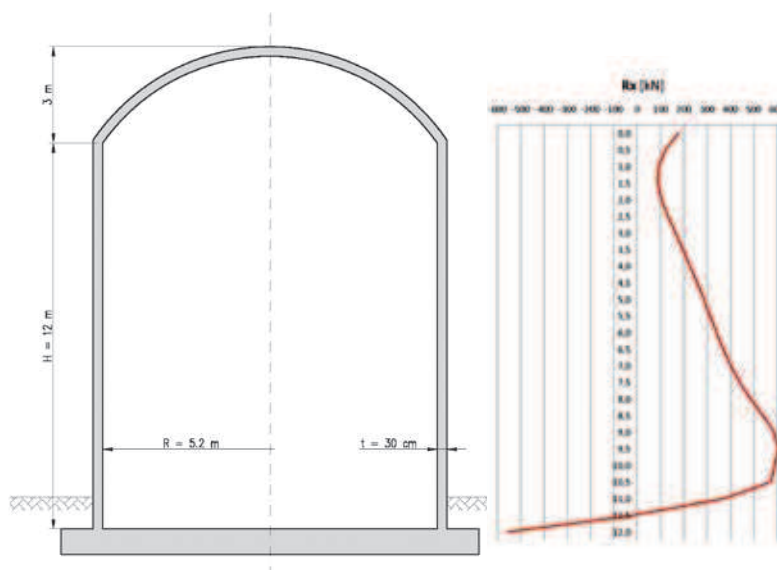
W wyniku różnych czynników, jak błędy projektowe, wykonawcze, zmiana sposobu użytkowania, zmiana schematu statycznego w istniejących konstrukcjach żelbetowych mogą ujawniać się niebezpieczne układy sił od obciążeń zewnętrznych, powodujące przekroczenie dopuszczalnych naprężeń, i zarysowania. Można temu przeciwdziałać pasywnie, przez zwiększanie przekroju konstrukcji, dozbrajanie, zmia-

ny schematu statycznego, wzmocnienie elementami stalowymi, kompozytowymi. Aktywnym sposobem wzmocnienia jest dodatkowe sprężenie konstrukcji żelbetowej, które wprowadza w niej wstępny układ sił wewnętrznych, który tak przeciwdziała niebezpiecznemu układowi sił od obciążeń zewnętrznych, że łączne oddziaływanie tych układów konstrukcja przeniesie bezpiecznie [1]. Sprężanie konstrukcji żelbetowych jest dostępnym narzędziem inżynierskim od około 70 lat, które w Polsce, po okresie rozwoju w latach 50. 60. i 70., zaczęło popadać w delikatne zapomnienie i dopiero w ostatnim czasie, głównie za sprawą budownictwa komunikacyjnego obserwuje się ponowny renesans. Dotyczy to głównie obiektów nowo wznoszonych. Bardzo rzadko sięga się po sprężenie jako technologię wzmocniania konstrukcji przy remontach czy moderniza-

cjach. W świadomości wielu projektantów i wykonawców pokutuje przekonanie, że jest to technologia skomplikowana, a przede wszystkim droga. Oczywiście wymaga ona posiadania wiedzy, specjalistycznego sprzętu, doświadczonych pracowników. Jednakże koszty jej realizacji nie zawsze są względnie wysokie.

Stronę ekonomiczną dodatkowego sprężenia można przeanalizować na przykładzie zbiornika żelbetowego na wodę technologiczną. Został zaprojektowany jako cylindryczny, zamknięty od góry kopułą, o wysokości ściany 12 metrów i średnicy 5,20 m, zbrojony stalą RB 500 z betonu C35/45.

W trakcie eksploatacji zbiornika ujawniły się na jego płaszczu pionowe zarysowania, przez które następowała eksfiltracja wody. Analiza statyczna wykazała, że zbiornik został na etapie projektowania niedo-



Rys. 1. Przekrój przez zbiornik oraz wykres sił równoleżnikowych

zbrojony. Wymagał więc wzmocnienia i uszczelnienia. Rozważono trzy możliwe rozwiązania:

a) Wariant I: nałożenie na powierzchni zewnętrznej zbiornika dodatkowej siatki zbrojeniowej i narzucenie torkretu, uszczelnienie iniekcyjne pionowych rys, wykonanie od wewnątrz powłoki izolacyjnej;

b) Wariant II: dozbrojenie zbiornika taśmami z włókna węglowego mocowanymi na powierzchni zewnętrznej, osłonięcie taśm tynkiem cementowym, uszczelnienie iniekcyjne pionowych rys, wykonanie od wewnątrz powłoki izolacyjnej;

c) Wariant III: sprężenie zbiornika kablami obwodowymi z zastosowaniem zakotwień typu X oraz wykonanie od wewnątrz powłoki izolacyjnej.

W wariantcie I dodatkowo zbrojenie stanowiła siatka z poziomo ułożonych prętów o średnicy 16 mm co 8 cm i pionowo z prętów o średnicy 12 mm w rozstawie co 15 cm.

W przypadku wariantu II założono montaż, na wysokości zbiornika, 17 opasek z taśmy z włókna węglowego o szerokości 100 mm i grubości 1,4 mm.

Wzmocnienie kablami (wariant III) zaprojektowano przy zastosowaniu cięgien o średnicy 15,7 mm w rozstawie co 33 cm, mocowanych w zakotwieniach typu X.

Oszacowanie kosztów wykonania wzmocnienia i zabezpieczenia konstrukcji przeprowadzono metodą kosztorysowania szczegółowego przy poziomie kosztów IV kwartału 2011 r., wg wydawnictwa Sekocebud i cenach katalogowych producentów i dostawców materiałów. W analizie kosztów pominięto elementy niezbędne do wykonania we wszystkich wariantach: rusztowanie zewnętrzne, ułożenie powłoki izolacyjnej od wewnątrz. Wyniki analizy kosztowej przedstawione są w tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki analizy kosztów

Wariant	Cena netto [tys. zł]	Współczynnik
I	96,5	1,4
II	274,4	4
III	68,6	1

Zestawienie to wykazuje, że wbrew obiegowym opiniom, wzmocnienie konstrukcji za pomocą kabli sprężających może być, przy zachowaniu wysokiej efektywności, rozwiązaniem najtańszym.

3. Ochrona katodowa jako aktywny sposób zabezpieczenia stali zbrojeniowej

Procesy korozji stali zbrojeniowej w betonie są znane i często opisywane. W warunkach zawilgocenia otuliny betonowej (wilgotność optymalna dla rozwoju procesu to 60% wilgotności względnej), docierający z powietrza tlen i dwutlenek węgla reagują z wodorotlenkiem wapnia, zawartym w betonie, w głównej mierze odpowiedzialnym za zasadowość betonu. W efekcie powstaje obojętny węgiel wapnia, który doszczelnia strukturę betonu, i woda. Konsekwencją tej reakcji jest stopniowe obniżanie się pH betonu. Gdy jego wartość spadnie poniżej 11 [2] czy też 9 [3], to powierzchniowa warstwa pasywująca z tlenku żelazowego ulega degradacji, następuje aktywacja stali i rozwijają się procesy korozyjne.

Z chwilą pojawienia się korozji prętów zbrojeniowych, powszechnie przyjmuje się, że naprawa musi polegać na miejscowym usunięciu skorodowanego betonu, oczyszczeniu odsłoniętego zbrojenia, zabezpieczeniu go powłoką antykorozyjną i reprofiliacji konstrukcji, najczęściej przy użyciu zapraw typu PCC nakładanych ręcznie natryskowo. W analizach tych pomijany jest często przebieg procesu korozji stali zbrojeniowej. Po zniszczeniu warstwy pasywującej, na powierzchni stali powstają obszary o różnych potencjałach pomiędzy metalem a elektrolitem, który tworzy ciecz porowa w betonie. Tworzą się lokalne ogniwa korozyjne, składające się z punktowych anod i katod (rys. 2). Procesy korozyjne są bardziej widoczne na anodzie, następuje niszczenie stali i pojawia się rdza [2], [3]. Po dokonaniu w takim miejscu

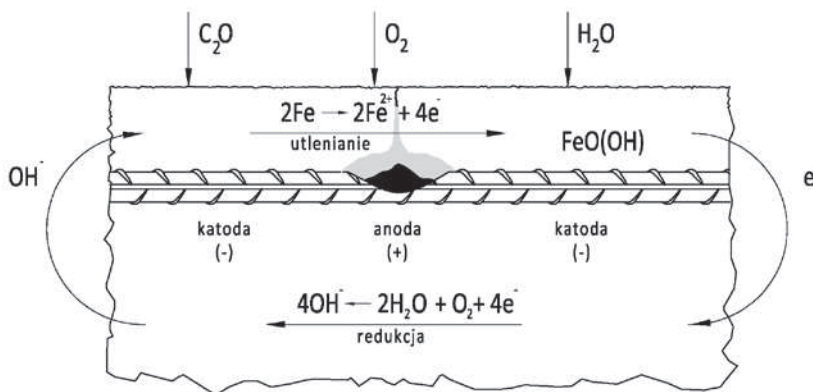
punktowej naprawy z zabezpieczeniem stali łącznie, następuje odwrócenie biegunów w ogniwie i tuż obok naprawionego miejsca następuje dalsza destrukcja.

Problem ten można wyeliminować zastępując bierną, odcinkową ochronę powłokową stali zbrojeniowej, aktywną ochroną – ochroną katodową. Stosowanie tego typu ochrony ma uzasadnienie tylko w odniesieniu do konstrukcji narażonych na intensywne oddziaływanie czynników korozyjnych, zwłaszcza korozji chlorkowej. W obecności zwiększonej ilości jonów chlorkowych, procesy korozyjne stali zbrojeniowej w betonie przebiegają znacznie szybciej [2].

Warunkiem technicznym funkcjonowania ochrony katodowej jest zachowanie ciągłości zbrojenia w chronionej konstrukcji poprzez spawanie, zgrzewanie lub bardzo dokładne skręcenie.

Ochrona katodowa jest odmiennie realizowana dla konstrukcji podziemnych i podwodnych, gdzie anody dostarczające prąd ochronny są umieszczone w środowisku elektrolitycznym, w odpowiednim oddaleniu. Inaczej ochrona katodowa jest realizowana w konstrukcjach żelbetowych stykających się z atmosferą. Dostarczające prąd anody muszą bezpośrednio stykać się z betonem, na jego powierzchni lub w głębi, gdyż środowiskiem elektrolitycznym jest w takim przypadku ciecz porowa betonu. Umożliwia ona przepływ prądu, wprowadzie małego, ale wystarczającego do wywołania polaryzacji elektrochemicznej [4].

Kwestia ochrony katodowej konstrukcji żelbetowych w świecie i Europie wyszła już przeszło 10 lat temu poza fazę naukowo-techniczną i stała się normalnym narzędziem zabezpieczenia konstrukcji, ujętym w normach europejskich [5], [6]. Ten sposób zabezpieczenia konstrukcji żelbetowych jest dedykowany obiektom pracującym w bardzo trudnych warunkach środowiskowych, przede wszystkim narażonym na korozję chlorkową: całość infrastruktury na nabrzeżach mor-



Rys. 2. Schemat przebiegu reakcji korozyjnych stali zbrojeniowej w betonie [2], [3]

skich, mosty i wiadukty drogowe, specyficzne obiekty produkcyjne. Stosowanie w praktyce ochrony katodowej wymaga interdyscyplinarnej wiedzy i dlatego personel powinien mieć odpowiednie kompetencje, których weryfikacja jest również ujęta normowo [7]. W przywołanej normie oddzielnie są określone kompetencje personelu specjalizującego się w ochronie katodowej stali zbrojeniowej w konstrukcjach żelbetowych. W tej kwestii w Polsce nie zrobiono nic. Nie ma szkoleń, nie ma ośrodka sprawdzającego kompetencje, nie ma osób certyfikowanych. Tym czasem rynek oferuje gotowe rozwiązania systemowe w tym zakresie [8], obejmujące:

- Ochronę galwaniczną w formie powłoki cynkowej natryskiwanej na gorąco na powierzchnię betonu i punktowo łączonej ze zbrojeniem (np. Foreva GP Zinc) albo anod traconych umieszczanych w powierzchniowych brzdach, w pobliżu zbrojenia (np. Foreva GP Guard). Rozwiązania te stosowane są w przypadkach małej intensywności oddziaływania czynników korozyjnych.

- Ochronę katodową w formie powierzchniowych siatek metalowych stanowiących katodę, pokrytych 2–3 warstwami tokretu (np. Foreva CP Mesh). Siatkami pokrywa się całą powierzchnię chronionego elementu konstrukcyjnego. Rozwiązanie to ma zastosowanie w przypadku już istniejących konstrukcji, silnie zkarbonatyzowanych i z dużą zawartością chlorków, w których

strefa skażenia nie dotarła jeszcze do stali zbrojeniowej. Alternatywą są strzemiiona anodowe, w formie pasów z siatek tytanowych umieszczanych w brzdach na powierzchni betonu, w sąsiedztwie prętów zbrojeniowych (np. Foreva CP Ribbon). System ten może być stosowany również w nowych konstrukcjach poprzez umieszczenie katod ochronnych na zbrojeniu, przed betonowaniem. Stosowane też są wewnętrzne, dyskretne anody tytanowe umieszczane w otworach lub brzdach powierzchniowych, w sąsiedztwie zbrojenia (np. Foreva CP Tube). Rozwiązanie jest dedykowane silnie zbrojonym konstrukcjom i umożliwi również ochronę zbrojenia ułożonego głębiej. Innym rozwiązaniem są anody malowane, do wykonania których stosuje się organiczne farby przewodzące (np. Foreva CP Coat). Rozwiązanie to ma zastosowanie przy małej intensywności oddziaływania czynników korozyjnych, a ponadto sama powłoka ma ograniczony czas życia, nieprzekraczający 10 lat.

Rozwój technik ochrony katodowej stali zbrojeniowej w konstrukcjach żelbetowych umożliwił również wprowadzenie na skalę techniczną metod regeneracji otuliny betonowej [8], [9]. Regeneracja ta obejmuje realalkalizację betonu oraz usuwanie jonów chlorkowych z betonu. Realkalizację można przeprowadzić metodą elektrochemiczną, polegającym na krótkotrwałym przepływie prądu pomiędzy zbrojeniem (katodą) a anodą umieszczoną w „okładzie”, nasączonym alkalicznym roztworem elektrolitu, ułożonym na powierzchni betonu (np. Foreva PH⁺ Regebeton i Foreva PH⁺ Floc).

Realkalizację można też przeprowadzać wykorzystując zjawisko dyfuzji jonów pomiędzy „okładem” wysyconym roztworem jonów węglanowych i hydroksylogowych, umieszczonym na powierzchni betonu, a otuliną betonową zbrojenia (np. Foreva PH⁺ Regebeton).

Wykorzystując mechanizm działania elektrochemicznej metody realalkalizacji betonu, można też usunąć z betonu jony chlorkowe. Również stosuje się krótkotrwały przepływ prądu pomiędzy zbrojeniem (katodą) a anodą umieszczoną w „okładzie” ułożonym na powierzchni betonu i nasyconym odpowiednim elektrolicie (np. Foreva Cl⁻ Regebeton i Foreva Cl⁻ Floc). W ten sposób z otuliny betonowej można usunąć wolne jony chlorkowe aż do dopuszczalnego poziomu ich zawartości (< 0,4% masy cementu) i również jony innych szkodliwych soli.

W ten sposób z otuliny betonowej można usunąć wolne jony chlorkowe aż do dopuszczalnego poziomu ich zawartości (< 0,4% masy cementu) i również jony innych szkodliwych soli.

BIBLIOGRAFIA

[1] Ajdukiewicz A., Mames J., Konstrukcje z betonu sprężonego. Wydawnictwo Polski Cement. Kraków 2004
 [2] Czarnecki L., Emmons P. H., Naprawa i Ochrona Konstrukcji Betonowych Wydawnictwo Polski Cement. Kraków 2002
 [3] Gruener M., Korozja i ochrona betonu. Arkady. Warszawa 1983
 [4] Sokólski W., Ochrona katodowa stali zbrojeniowej w betonie –aktualny stan technologii, zakres stosowania i wymagania normowe. Ochrona przed Korozją, vol. 54, nr 1/2011
 [5] PN-EN 1504-9:2010. Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności. Część 9: Ogólne zasady dotyczące stosowania wyrobów i systemów.
 [6] PN-EN 12696:2004 Ochrona katodowa stali w betonie
 [7] PN-EN 15257: 2008 Ochrona katodowa. Poziomy kompetencji i certyfikacja personelu ochrony katodowej
 [8] Controlling corrosion of concrete reinforcements. System Foreva
 [9] Jaśniok M., Zybura A., Zabezpieczenie i regeneracja zagrożonych korozją konstrukcji z betonu. Elektrochemiczne odtworzenie ochronnych właściwości otuliny betonowej (cz. IV). Przegląd budowlany nr 7–8/2007