

Analiza przyczyn zarysowania żelbetowych słupów podpierających konstrukcję nośną pomostów komunikacyjnych oraz sposobu ich wzmocnienia

Analysis of the causes of cracks in reinforced concrete columns that support the load bearing structure of communication platforms and the reinforcement implemented

dr inż. Bogdan Jankowski, Bogdan Jankowski BJ Biuro Projektowe, Marek Pisarski, ALPIN SYSTEM Przedsiębiorstwo Usług Specjalistycznych, dr inż. Jerzy Szotomicki (ORCID: 0000-0002-1339-4470) Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Politechnika Wrocławska

DOI: 10.5604/01.3001.0054.3646

Streszczenie: Artykuł dotyczy naprawy i wzmocnienia żelbetowych słupów podpierających konstrukcję nośną pomostów komunikacyjnych łączących komory fermentacyjne we Wrocławskiej Oczyszczalni Ścieków. W wyniku sprawdzenia stanu technicznego słupów podporowych pod kątem bezpieczeństwa dalszego użytkowania stwierdzono, że słupy żelbetowe mają liczne zarysowania poziome prostopadłe do osi podestu. Przeprowadzona analiza wykazała błędy projektowe i wykonawcze na etapie wytwarzania konstrukcji i podczas jej realizacji. Wśród nich można wyróżnić: niewłaściwe zbrojenie, mikrorysy i naprężenia skurczowe, zbyt dużą otulinę zbrojenia oraz brak podparcia belek pomostu na łożyskach powiązanych z konstrukcją zwieńczającą poszczególne komory fermentacyjne. W artykule autorzy przedstawili wytyczne prac remontowych betonu oraz zalecenia dotyczące wzmocnienia uszkodzonych słupów oraz dodatkowego przegubowego podparcia pomostu komunikacyjnego.

Słowa kluczowe: konstrukcja żelbetowa, analiza zarysowania, wzmocnienie, oczyszczalnia ścieków.

Abstract: The paper deals with the strengthening of reinforced concrete columns supporting the load-bearing structure of the communication platforms connecting fermentation chambers in the Wrocław Sewage Treatment Plant. As a result of the check of the technical condition of the supporting columns in terms of safety for future use, it was found that the reinforced concrete columns had numerous horizontal cracks perpendicular to the platform axis. The analysis carried out revealed design and construction errors during the design and construction phases. These include: inappropriate reinforcement, microcracking, and shrinkage stresses, excessive reinforcement cover, and the lack of support for the beams of the platform on bearings associated with the structure topping individual fermentation chambers. In the paper, the authors presented guidelines for concrete repair work and recommendations for reinforcing damaged columns and providing additional pinned support for the communication platform.

Keywords: reinforced concrete structure, crack analysis, reinforcement, Sewage Treatment Plant.

1. Wprowadzenie

W artykule przedstawiono problem związany z wystąpieniem stanu awaryjnego słupów żelbetowych stanowiących konstrukcję wsporczą pomostów komunikacyjnych w oczyszczalni ścieków. Poniżej opisano powstanie uszkodzeń w słupach, analizę przyczyn ich powstania oraz sposób naprawy i wzmocnienia. Celem wzmocnienia słupów było zapewnienie nośności w strefie przeciążonej i zarysowanej, a także zapewnienie trwałości w okresie eksploatacji.

2. Charakterystyka konstrukcyjna obiektu

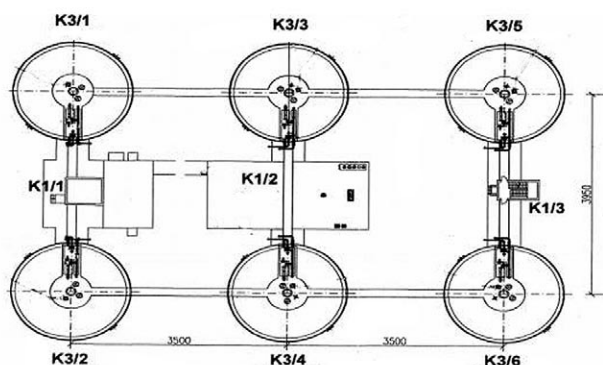
Wrocławska Oczyszczalnia Ścieków jest oczyszczalnią mechaniczno-biologiczną z chemicznym wspomaganie usuwania

związków fosforu [1]. Proces oczyszczania ścieków związany jest z powstawaniem odpadów i osadów. Ważnymi obiektami technologicznymi są wydzielone komory fermentacyjne (WKF), do których doprowadzany jest zagęszczony osad (rys. 1). Służą one do fermentacji mezofilowej osadów wstępnych i nadmiernych. Komunikację pomiędzy komorami zapewniają stalowe pomosty komunikacyjne. W artykule autorzy przeprowadzili diagnostykę żelbetowych słupów stanowiących konstrukcję nośną pomostów komunikacyjnych łączących 6 wydzielonych komór WKF (rys. 2). Konstrukcję pomostu stanowią belki stalowe IPE 360 podparte przegubowo na słupach żelbetowych o przekroju prostokątnym 0,4x0,5 m i długości 5,68 m zamocowanych sztywno w ścianach zbiorników żelbetowych. Słupy składają się z dwóch części: górnej prefabrykowanej i dolnej (słupki pilotujące)

monolitycznej. Fundamenty słupków pilotujących połączone są ze ścianami komór K3/3 do K3/6 wypuszczonym ze ścian zbrojeniem, natomiast z wybudowanymi wcześniej komorami K3/1 i K3/2 kotwami wklejanymi.



Rys. 1. Wydzielona komora fermentacyjna z widocznym słupem podporowym zakotwionym w ścianie zbiornika (zdjęcia autorów)



Rys. 2. Plan sytuacyjny wydzielonych komór fermentacyjnych

3. Badanie stanu technicznego słupów

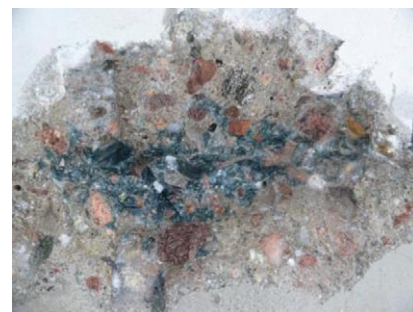
W wyniku sprawdzenia stanu technicznego słupów podporowych stwierdzono liczne zarysowania poziome i mniej liczne pionowe (rys. 3). Rysy te zaobserwowano głównie na ścianach słupów prostopadłych do osi podestu. Wykonane odkrywki na dwóch słupach wykazały, że zarysowania obserwowane na zewnętrznej powłoce ciągną się do głębokości zatopionego zbrojenia. W kilku przypadkach podczas wykonywania odkrywek natrafiono na warstwę betonu okalającą pręt o nietypowym zabarwieniu (rys. 4). Można przypuszczać, że obserwowana smuga wiąże się z reakcją chemiczną zachodzącą pomiędzy stalą a związkami chemicznymi wnikającymi przez rysę wraz z wodą. Wnikanie wody i gazów może następować również poprzez porowatą strukturę betonu. Porowatość betonu jest zjawiskiem typowym i nieuniknionym, ale prawidłowo wykonany odlew powinien mieć pory o jak najmniejszej średnicy. Strukturę

taką zaobserwowano w strefie przypowierzchniowej (niezsypachlowane strony słupa), jak i głębiej w wykonanych odkrywkach. Duża porowatość betonu wskazuje na niezachowanie współczynnika wodno-cementowego w czasie jego przygotowania. W trakcie prac diagnostycznych stwierdzono również uszkodzone narożniki na głowicach słupów, które powstały prawdopodobnie w trakcie ich transportu.



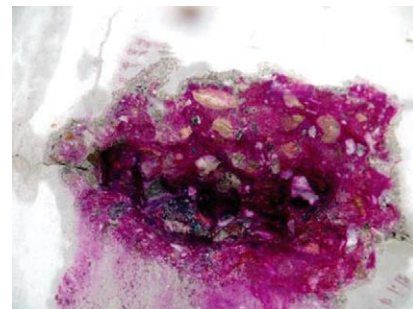
Rys. 3. Badanie zarysowania słupa podporującego pomost komunikacyjny (zdjęcia autorów)

Rys. 4. Zabarwienie wynikające z reakcji chemicznej zachodzącej pomiędzy zbrojeniem a związkami chemicznymi wnikającymi przez rysę wraz z wodą (zdjęcia autorów)



Ze względu na możliwość korozji zbrojenia w konstrukcji żelbetowej, jednym z podstawowych badań diagnostycznych betonu był pomiar głębokości karbonizacji betonu, przeprowadzony przy użyciu fenoloftaleiny oraz testu tęczowego (*Rainbow Indicator*) (rys. 5).

Rys. 5. Test tęczowy (*Rainbow Indicator*) wskazujący na pH 9,5–10,5 na całej głębokości odkrywki (zdjęcia autorów)



W rezultacie badań całość powierzchni odkrywki zabarwiała się na kolor fioletowo-różowy, co wskazywałoby na częściową utratę ochronnych właściwości betonu i możliwe zapoczątkowanie korozji. Ocenę wytrzymałości betonu

przeprowadzono za pomocą badań sklerometrycznych według [2]. Przeprowadzona analiza na podstawie [3] pozwoliła ustalić, że parametry fizyczne badanego betonu zbliżone są do klasy co najmniej C20/25.

Na podstawie przeprowadzonych badań materiałowych wykonano analizę numeryczną konstrukcji za pomocą programu Robot Structural Analysis Professional 2023. Analiza wykazała, że słupy mają zbyt małą nośność w stosunku do rzeczywistego zbrojenia (5 prętów o średnicy $\varnothing 16$ mm – dokumentacja projektowa) i powinny być zabronione co najmniej 6 prętami o średnicy $\varnothing 16$ mm ze stali 18G2 (S355).

4. Analiza wyników badań

Wyniki analizy numerycznej nie do końca tłumaczą powstanie rys prostopadłych do osi pomostu. Rysy powinny pojawić się przede wszystkim w dolnej części słupów, a występują na całej jej wysokości. Przyczyny istniejących zarysowań i spękań należy doszukiwać się w splocie niekorzystnych zjawisk. Przede wszystkim zastosowania niewłaściwego zbrojenia, mikrorysy i naprężeń skurczowych, które z czasem przekształciły się w regularne pęknięcia, zbyt dużej otuliny zbrojenia oraz braku podparcia belek pomostu na łożyskach powiązanych z konstrukcją zwieńczającą poszczególne komory. Należy podkreślić, że w skrajnych przypadkach pęknięcie obejmowało 25% przekroju słupa. Miało to miejsce w przypadku występowania symetrycznych rys po obu stronach słupa.

Rozmiar defektów mógłby być mniejszy, gdyby konstrukcję zabezpieczono powierzchniowo. Ograniczenie nasiąkliwości betonu uzyskuje się poprzez zabieg hydrofobizacji, natomiast barierę dla wnikania szkodliwych substancji chemicznych oraz wilgoci tworzy się wykorzystując odpowiednie szpachlówki.

Zastosowanie szpachlówki tylko na dwóch stronach słupa miało na celu bardziej ukrycie zaistniałych zarysowań niż było zabiegiem konserwacyjnym. Stąd doszło do zmian karbonizacyjnych. Ustalono częściową utratę ochronnych właściwości betonu i możliwość zapoczątkowania procesu korozji (pH 9,5–10,5). Na wykonanych próbkach proces karbonatyzacji sięgał 50 mm w głąb betonu.

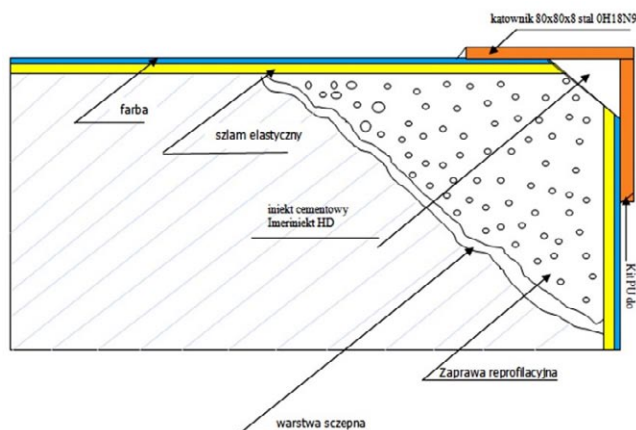
5. Zalecenia naprawy konstrukcji słupów oraz sposób ich wzmocnienia

Po analizie wyników badań zalecono przeprowadzenie prac remontowych betonu [4] oraz wykonanie wzmocnienia słupów stalową konstrukcją stężającą i zamocowanie dodatkowego podparcia pomostu komunikacyjnego.

5.1. Naprawa żelbetowej konstrukcji słupów

W ramach prac remontowych betonu zalecone zostało (rys. 6):

- oczyszczenie powierzchni poprzez hydropiaskowanie lub szlifowanie oraz groszkowanie i zmycie powierzchni wodą pod ciśnieniem;
- zbitcie wszystkich luźnych fragmentów betonu (narożniki głowic słupów);
- zbitcie ubytków i złuszczeń i wykonanie prawidłowej wyprawki górnej półki głowicy słupa;
- reprofilacja ubytków;



Rys. 6. Kompleksowa naprawa powierzchni betonu – przekrój przez warstwę naprawczą (opracowanie M. Pisarski)

- wykonanie iniekcji rys techniką pakerów naklejanych (dwukomponentową epoksydową żywicą iniekcyjną);
- wykucie wystających prętów i gniazd na minimalną głębokość 30 mm i uzupełnienie zaprawą do reprofiliacji;
- pokrycie warstwą dwuskładnikowego, hydroizolującego materiału na bazie polimerowo-cementowej naprawianego strukturalnie i powierzchniowo słupa;
- wykonanie malowania wykańczającą elastyczną farbą ochronną.

Ponieważ naprawiane słupy mają ścięte narożniki, ich krawędź należy wypełnić iniektem cementowym dla uzyskania odpowiedniego styku z planowanym wzmocnieniem kątownikiem stalowym.

5.2. Wzmocnienie słupów stalową konstrukcją stężającą oraz wykonanie dodatkowego podparcia pomostu komunikacyjnego

Z uwagi na stosunkowo wiotką konstrukcję słupów podporowych zaprojektowano wzmocnienie konstrukcji żelbetowej poprzez konstrukcję stalową. Konstrukcja ta składa się z czterech kątowników umiejscowionych w narożnikach słupów, które połączone są poziomymi i ukośnymi elementami z ceowników (rys. 7). Na dwóch ścianach elementy poziome mają zaprojektowany przegub umożliwiający za pomocą śrub stworzenie odpowiedniego docisku do słupa żelbetowego.

Ponadto w celu ograniczenia przemieszczeń pomostu spowodowanych naporem wiatru, a także podpierających go słupów, zaprojektowano dodatkowe podparcie przegubowe.

