

dr inż. Marta Kałuża<sup>1)\*</sup>  
 prof. dr hab. inż. Jan Kubica<sup>1)</sup>

# Błędy projektowe przyczyną uszkodzeń żelbetowego osadnika zgorzeli

*Design errors as a main reason causing damages of underground RC tank*

DOI: 10.15199/33.2015.09.23

(Studium przypadku)

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono problemy związane z użytkowaniem podziemnego żelbetowego osadnika zgorzeli, służącego do oczyszczania wody produkcyjnej w procesie ciągłego odlewania stali. Już po kilku tygodniach od pierwszego napełnienia zbiornika zaobserwowano liczne zarysowania jego powierzchni. Naprawy uszczelniające wykonane zaledwie po roku użytkowania konstrukcji okazały się nieskuteczne. Uszkodzenia zwiększały się, a stan techniczny obiektu szybko się pogarszał. Szczegółowa analiza dokumentacji obiektu pozwoliła na określenie przyczyn zaistniałej sytuacji i zalecenie odpowiednich środków naprawczych wraz z technologią ich wbudowania.

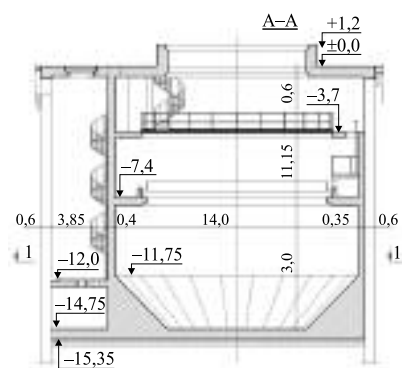
**Słowa kluczowe:** żelbetowy zbiornik, rysy, błędy projektowe.

**Abstract.** The problems connected with using of underground reinforced concrete technological tank for water purification in the process of continuous casting of steel are presented in this paper. Just a few weeks after the initial filling of the reservoir numerous cracks visible on the concrete surface were observed. Some sealing repair works made after 1 year of exploitation of the tank turned out to be absolutely ineffective. Damages have been growing constantly and the technical state of the structure getting worse very quickly. Detailed analysis of the site documentation allowed to determine the main causes of this situation and recommend most proper repair materials, including the technology of their installation.

**Keywords:** RC tank, cracks, design errors.

Omawiany osadnik zgorzeli stanowi jeden z głównych elementów konstrukcyjnych wymaganych w linii technologicznej ciągłego odlewania stali (COS) i służy do oczyszczania wody wykorzystywanej w tym procesie produkcyjnym. Osadnik wybudowano na przełomie lat 2005/2006, a w październiku 2006 r. został oddany do eksploatacji. Jest to żelbetowy podziemny zbiornik składający się z zewnętrznego płaszcza i konstrukcji wewnętrznych – zbiornika właściwego, stropów i pomostów pośrednich, a także stalowych schodów i elementów zabezpieczających. Płaszcz zewnętrzny osadnika średnicy 18,00 m w świetle i głębokości 15,35 m wykonano metodą ściany szczelinowej, której grubość wynosi 0,60 m. Wewnątrz osadnika niecentrycznie wykonano zbiornik właściwy o wewnętrznej średnicy 14,00 m do głębokości 11,75 m, a następnie do głębokości 14,75 m uformowano w postaci leja, którego najmniejsza średnica wynosi 8,00 m. Ściany zbiornika właściwego mają grubość 0,40 m od strony wewnętrznej i 0,35 m od strony zewnętrznej (na styku ze ścianą szczelinową). Cały osadnik przekryty jest płytą stropową grubości 0,60 m monolitycznie połączoną

z płaszczem zewnętrznym. W płycie tej wykonano otwór ekspedycji zgorzeli z dna osadnika. Na poziomach: -12,00, -7,40 i -3,70 m rozmieszczono dodatkowe żelbetowe pomosty i stropy wewnętrzne. Na rysunku pokazano przekrój osadnika.



**Przekrój osadnika zgorzeli**  
*Cross-section of technological RC tank*

## Stan techniczny konstrukcji

Na początku 2007 r. użytkownik obiektu zaobserwował zarysowania wewnętrznej ściany zbiornika właściwego (od strony pomieszczeń technicznych). Rysy te widoczne były na całym dostępnym obwodzie ściany, gdzie biegły pionowo, w dość równych odstępach. Z czasem przez rysy te zaczęła przesączać się woda ze zbiornika, a na ścianie pojawiły się liczne zacieki. Od listopada 2007 r. do stycznia 2008 r.

uszkodzenia te były naprawiane przez specjalistyczną firmę budowlaną. Rysy zostały kilkakrotnie uszczelnione metodą iniekcji, a lokalnie na powierzchni wykonano powłoki zabezpieczające.

Przeгляд konstrukcji wykonany przez nas w 2008 r. wskazywał na zły stan techniczny wewnętrznej ściany zbiornika. Widoczne były silne pionowe zarysowania ściany, zanikające ku górze. Przez większość rys przesączała się woda technologiczna ze zbiornika. Wykonane wcześniej naprawy były więc nieskuteczne i nie przyniosły poprawy, a nawet pogorszyły stan obiektu. Naprawiane powierzchnie były silnie zawilgocone, lokalnie po ścianie ciekła woda (fotografia). Na stropie widoczne były mokre plamy, a miejscami na posadzce zastoiny wody. Wokół wszystkich rys były zacieki o różnej intensywności. Zaobserwowano także silną korozję ługującą. W wielu miejscach widoczna była postępująca degradacja zewnętrznej warstwy betonu. Lokalnie stwierdzono znaczne ubytki otuliny betonu. Najsilniejsze uszkodzenia odnotowano od poziomu -12,00 m do -9,40 m, a więc bezpośrednio nad lejem zbiornika.

## Analiza przyczyn uszkodzeń zbiornika

Obserwowany układ i charakter zarysowań (rysy wskrośne, przez które sączy się woda) wskazywał na ich termiczno-skur-

<sup>1)</sup> Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa;  
<sup>\*)</sup> Autor do korespondencji:  
 e-mail: marta.kaluzaj@polsl.pl



**Rysy i zacieki na ścianie zbiornika**  
*Cracks and stains on the wall of the tank*

czowe pochodzenie. Rysy te wykazywały zmienną szerokość rozwarcia, skutkującą różną intensywnością obserwowanych wycieków. Sytuacja taka wynikała z warunków pracy konstrukcji, w tym zmian temperatury wody gromadzonej w zbiorniku. Nasilenie przecieków występowało przy wysokim poziomie napelnienia zbiornika, a więc przy stosunkowo dużej wartości sił równoleżnikowych. W tym okresie dość gwałtownie spadała także temperatura zgromadzonej wody, od  $+60^{\circ}\text{C}$  do  $+20^{\circ}\text{C}$  (w zależności od czasu przestoju instalacji).

W celu określenia przyczyn uszkodzeń przeanalizowano dokumentację projektową pod kątem jej poprawności oraz zgodności z wykonaną konstrukcją. Badaniami potwierdzono zgodność klasy betonu (B25) i stopnia jego wodoszczelności (W8) z założeniami projektowymi. Nie prowadzono jednak dalszej szczegółowej analizy zgodności składu mieszanki betonowej z wytycznymi zawartymi w projekcie bądź wymaganiami stawianymi tego typu konstrukcjom. Uznano bowiem, że nieprawidłowości w składzie chemicznym betonu lub jego uziarnieniu nie były w stanie doprowadzić do powstania tak silnych zarysowań konstrukcji. Ponadto, woda nie przesączała się przez niezarysowany beton, a jedynie wypływała w miejscach przerwania ciągłości materiału.

Na podstawie przeglądu dokumentacji fotograficznej wykonywanej w trakcie budowy, a także skanowania zbrojenia w konstrukcji, potwierdzono zgodność wbudowanego zbrojenia z projektowanym. Zastosowano identyczne zbrojenie obydwu powierzchni ścian zbiornika, w postaci prętów  $\varnothing 16$  mm ze stali AIIIIN, rozmieszczonych co 200 mm (rów-

nołężnikowo i południkowo), co dawało stopień zbrojenia  $\rho \cong 0,5\%$ . Z uwagi na fakt, że obserwowane rysy wyraźnie wskazywały na problemy z przeniesieniem naprężeń termiczno-skurczowych, przeanalizowano wymagania normowe [1] i zalecenia literaturowe dotyczące minimalnej powierzchni zbrojenia przeciwskurczowego, a także zalecenia dotyczące obliczania zbrojenia elementów masywnych [2, 3]. Cytowane pozycje literatury przyjęto jako obowiązujące w okresie projektowania zbiornika.

Wyznaczono minimalny stopień zbrojenia przeciwskurczowego zgodnie z wymaganiami aktualnej w 2008 r. normy [1] oraz literatury fachowej. W przypadku zastosowanej klasy betonu i stali, przy przyjęciu granicznej szerokości rozwarcia rys  $w_{\text{lim}} = 0,2$  mm (wyłączenie w celu kontroli intensywności zbrojenia), wynosiło ono odpowiednio: 0,9% oraz 1,4%. Obliczone wartości w obydwu przypadkach były dużo większe od wartości przyjętych przez projektanta – pomimo faktu, że przy ich obliczaniu dopuszczono zarysowanie.

Na podstawie tzw. modułu powierzchniowego elementu [2, 3] zakwalifikowano omawiany zbiornik do konstrukcji o średniej masywności ( $m = 5$ ), co oznacza, że elementy charakteryzuje podwyższona wrażliwość na odkształcenia skurczowe. Tego typu konstrukcje wymagają zastosowania dodatkowego przypowierzchniowego zbrojenia, a także obligatoryjnego uwzględnienia w analizach obliczeniowych obciążenia wynikającego z odkształceń termiczno-skurczowych betonu. Na podstawie wyników analiz dokumentacji projektowej ustalono, iż projektant przyjął obciążenie skurczem, jednak przyłożył je nieprawidłowo, a mianowicie do całej konstrukcji, bez uwzględnienia rzeczywistego etapowania wznoszenia obiektu. Przedmiotowy zbiornik niewątpliwie betonowany był w kilku etapach. Należało zatem uwzględnić fakt, że wcześniej wzniesiony fragment (w którym zaszła już część odkształceń skurczowych) stanowił więzy ograniczające swobodę odkształceń kolejnego fragmentu. Obserwowane rysy, zlokalizowane nad masywnym i bardzo sztywnym lejem świadczą o tym, że dokładnie na krawędzi leja kończył się pierwszy etap betonowania. Tym samym, nieuwzględnienie różnicy przyrostu skurczu w ścianie w stosunku do wcześniej odkształconego skurczowo leja skutkowało powstaniem wielu pionowych rys, zanikających wraz z wysokością ściany. Zastosowanie odpowiedniego zbrojenia (wyliczonego przy prawidłowym zamodelowaniu zjawisk skurczowych) nie zlikwidowałoby oczywiście samego zja-

wiska skurczu (będącego cechą materiału, a nie konstrukcji), lecz skutkowałoby korzystnym rozmyciem obrazu rys w postaci dużej liczby mikrozarysowań.

## Podsumowanie

**Za główną przyczynę powstania obserwowanych uszkodzeń ściany zbiornika uznano błędy, które pojawiły się na etapie projektowania konstrukcji.** Było to niewłaściwe obliczenie i ukształtowanie zbrojenia przeciwskurczowego oraz nieprawidłowe (niezgodne z etapami wznoszenia konstrukcji) zamodelowanie obciążeń wynikających ze zjawiska skurczu. Drugą z wymienionych przyczyn może być rozpatrywana w ogólniejszym kontekście. Mianowicie, coraz częściej zauważyć można oderwanie procesu projektowania konstrukcji od realiów jej późniejszego wznoszenia, co niejednokrotnie skutkuje nieuwzględnieniem w projekcie obciążeń lub schematów nieuniknionych podczas budowy. Tym samym w pewnych etapach wznoszenia konstrukcji pozostaje ona praktycznie nieobjęta projektem, co grozi powstaniem uszkodzeń, a w skrajnych przypadkach awarią lub katastrofą.

Już na etapie użytkowania zbiornika miały miejsce naprawy ścian, które w pewnym stopniu przyczyniły się do pogorszenia jego stanu. Wynikało to z iniekcji zarysowań sztywnymi żywicami (iniekcje siłowe), niezdolnymi do kompensacji różnic rozwarcia rys w czasie. Ponadto, naprawy te prowadzone były w przypadku pustego zbiornika, to jest w sytuacji częściowego domknięcia rys.

W celu poprawy warunków pracy konstrukcji i zapewnienia możliwie dużej szczelności zalecono iniekcyjne wypełnienie rys materiałem odkształcalnym, wiążącym w warunkach wilgotnego środowiska. Zaproponowano żywice poliuretanowe, dodatkowo pęczniejące w kontakcie z wodą. Alternatywnie rozważono możliwość wbudowania elastycznej powłoki uszczelniającej ułożonej od wewnętrznej strony zbiornika. Odpowiednie prace naprawcze zostały wykonane i obiekt jest użytkowany.

## Literatura

- [1] PN-B-03264:2002: Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- [2] Flaga K., Skurcz betonu i jego wpływ na nośność, użyteczność i trwałość konstrukcji żelbetowych i sprężonych. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2002.
- [3] Flaga K., Naprężenia skurczowe i zbrojenie przypowierzchniowe w konstrukcjach betonowych. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2004.

*Przyjęto do druku: 26.07.2015 r.*