

dr hab. inż. Paweł Lewiński, prof. nadzw.^{1*)}
mgr inż. Krzysztof Sztuka¹⁾

Badania, analiza i monitorowanie zbiornika żelbetowego wzmocnionego przez sprężenie

Research, analysis and monitoring of RC tank strengthened by prestressing

DOI: 10.15199/33.2015.09.35

(Oryginalny artykuł naukowy)

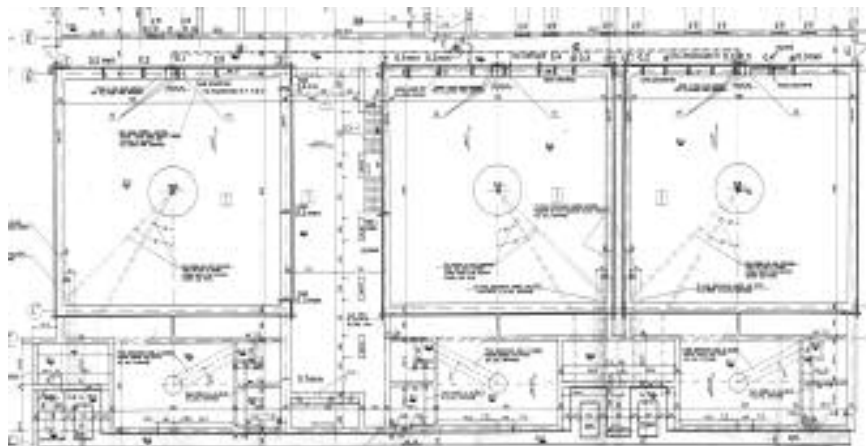
Streszczenie. Artykuł zawiera diagnostykę, analizę obliczeniową i monitorowanie osadnika wstępnego, stanowiącego zblokowany zespół żelbetowych komór, kanałów i pomieszczeń funkcyjnych. W komorach zgarniaczy osadnika wstępnego, które zostały objęte badaniami przeprowadzonymi przez Instytut Techniki Budowlanej (ITB) w 2008 r., stwierdzono występowanie zarysowań i brak szczelności konstrukcji. W wyniku realizacji zaleceń z ekspertyzy ITB wszystkie komory zgarniaczy osadnika wstępnego kompleksowo naprawiono i sprężono kablami. Na podstawie obliczeń stwierdzono, że dzięki realizacji tych zaleceń przywrócono trwałość i właściwe użytkowanie konstrukcji, bez negatywnego wpływu na pozostałe komory i kanały.

Słowa kluczowe: badania, analiza obliczeniowa, zbiornik żelbetowy, sprężenie kablami.

Abstract. The paper includes diagnostics, computational analysis and monitoring of pre-settler tank, which is an interlocked compound of reinforced concrete bins, channels, and function chambers. In the initial settling chambers, which were examined by ITB in 2008 occurred cracks. It was found that permissible width of the cracks, which is required for the tightness of the structure was exceeded. As a result of the recommendations of ITB experts, all initial settling chambers were pressurized by cables. On the basis of calculations, it was found that the implementation of these recommendations restored sustainability of the structure, without adversely affecting the other chambers or channels.

Keywords: research, computational analysis, RC tank, strengthening, prestressing.

Żelbetowe i sprężone zbiorniki na materiały sypkie i ciecze stanowią przedmiot badań diagnostycznych i analiz, projektów wzmocnień i monitoringu wielu ośrodków naukowych w kraju, w tym prawie wszystkich politechnik [1] oraz ITB [2 – 4]. W artykule przedstawiono diagnostykę, analizę obliczeniową i monitorowanie osadnika wstępnego, będącego jednym z obiektów oczyszczalni ścieków, stanowiącego zblokowany zespół żelbetowych komór, kanałów i pomieszczeń funkcyjnych. Osadnik, który składa się z połączonych konstrukcyjnie elementów ściennych, koryt, kanałów i płyty dennej, przykrytych stropami lub pokrywami typu lekkiego, został wykonany w latach 1998 – 2005. Osadnik ma wymiary w planie 57,0 x 31,0 m i zmienną wysokość 7,93 ÷ 11,74 m. Największe komory żelbetowe osadnika to zespół komór zgarniaczy składający się z trzech komór A, B i C konstrukcyjnie połączonych z pozostałą częścią żelbetowej konstrukcji obiektu. Komory A i B są częściowo zblokowane, gdyż mają wspólną zewnętrzną ścianę podłużną, zaś ściany poprzeczne są oddzielne (rysunek 1). Komory zgarniacza mają wymiary wewnętrzne 15,0 x 15,0 m i wysokość zewnętrzną 8,13 m. Ściany podłuż-



Rys. 1. Inwentaryzacja uszkodzeń (2008 r.) i schemat wzmocnień komór osadnika wstępnego
Fig. 1. Damage inventory (2008) and strengthening scheme of pre-settler chambers

ne i poprzeczne komór skrajnych zaprojektowano o grubości 60 cm, ale część ścian wewnętrznych pocieniono na całej lub w połowie wysokości do 40 cm. Beton przewidziano w projekcie jako wodoszczelny klasy B35 W8, którą podczas badań in situ określono na B30-B37. Dno zbiornika stanowi płyta żelbetowa o grubości 60 cm. Zbrojenie prętami pionowymi i poziomymi klasy A-II o granicy plastyczności 355 MPa, średnicy 12 mm w rozstawie co 20 cm, przyjęto jako obustronne symetryczne. Jedynie w sąsiedztwie płyty dennej ściany są zbrojone dodatkowo prętami średnicy 16 i 25 mm (wzdłuż osi D i C').

Badania konstrukcji zbiornika wielokomorowego in situ

Badaniami ITB, przeprowadzonymi po raz pierwszy w 2008 r., objęte zostały komory zgarniaczy osadnika wstępnego, w których stwierdzono występowanie zarysowań i brak szczelności konstrukcji (w wielu miejscach ścieki przenikały przez rysy) – pionowe rysy przelotowe biegnące przez prawie całą wysokość ściany. Zbrojenie poziome, ze względu na znaczną szerokość rys (do 0,5 mm), było zagrożone korozją, o czym świadczyły charakterystyczne wycieki. Przyczyny uszkodzeń

¹⁾ Instytut Techniki Budowlanej

^{*)} Autor do korespondencji:
e-mail: p.lewinski@itb.pl

zbiornika leżały po stronie jego projektu (niski stopień zbrojenia) oraz wykonania i wynikały z wielu zjawisk, takich jak skurcz betonu powodujący zarysowania ścian oraz powstałe z różnych powodów nieszczelności przerw roboczych, a także niedostateczna sztywność szalunków. Stwierdzono również uszkodzenia powłoki izolacyjnej ścian (złuszczenia), prowadzące w dłuższym czasie do osłabienia konstrukcji. Schemat osadnika oraz inwentaryzację uszkodzeń (zarysowań) komór zgarniacza osadnika wstępного dokonaną w 2008 r. przedstawiono na rzucie zbiornika (rysunek 1).

Wzmocnienie konstrukcji i ponowna analiza obliczeniowa w świetle wyników badań

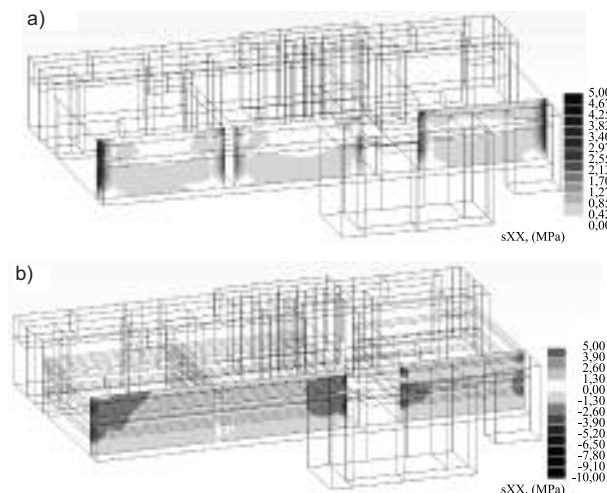
W wyniku realizacji zaleceń ekspertyzy ITB z 2008 r. wszystkie komory zgarniacza A, B i C osadnika wstępного sprężono kablami, przy czym każdą komorę sprężono oddzielnie (rysunek 1). Sprężenie zrealizowano za pomocą kabli bezprzyczepnościowych jednosplotowych o niskiej relaksacji systemu BBR, o wytrzymałości na rozciąganie 1860 MPa, w osłonkach HDPE wypełnionych smarem. Kable zakotwiono w stalowych blokach kotwiących umiejscowionych w narożach komór A, B i C (rysunek 1). Na niektórych odcinkach zastosowano ponadto dewiatory kierunkowe w celu eliminacji nadmiernych naprężeń rozciągających w ścianach zewnętrznych. Poszczególne ściany sprężono 30 lub 36 kablami. Ponadto zrealizowano kompleksowy program naprawczy elementów żelbetowych zbiornika, które następnie zabezpieczono zestawem elastycznych materiałów powłokowych firmy Sika.

Ponowne badania osadnika wstępного przeprowadzone przez ITB w 2011 r., tj. po wzmocnieniu komór zgarniaczy przez sprężenie kablami, miały już charakter kompleksowy i obejmowały prawie wszystkie komory, kanały i inne pomieszczenia obiektu osadnika. Przeprowadzono ponowną analizę statyczno-wytrzymałościową obiektu za pomocą MES z wykorzystaniem programu ARSA 2011 na podstawie pełnej dokumentacji technicznej, z uwzględnieniem współpracy konstrukcji z podłożem. Opracowano przy tym model numeryczny wstępного sprężenia, wyjaśniono przyczyny zarysowań i przeanalizowano (pozytywny) wpływ wstępного sprężenia (rysunek 2 – naprężenia σ_{xx} wyznaczono od obciążeń eksploatacyjnych,

jak w przypadku konstrukcji niezarysowanej). Obliczenia sprawdzające nie wykazały na tym etapie przekroczenia nośności przekrojów komór i kanałów żelbetowych, ale było to możliwe dzięki realizacji zaleceń ekspertyzy ITB z 2008 r. Nie miało to natomiast żadnego negatywnego wpływu na pozostałe komory i kanały, w których niedobór zbrojenia był znacznie mniejszy niż w przypadku komór zgarniaczy. Na tej podstawie stwierdzono, że dzięki realizacji zaleceń ekspertyzy ITB z 2008 r. przywrócono trwałość

i właściwe użytkowanie konstrukcji. Natomiast z tych samych obliczeń wynikało, że skurcz betonu mógł być przyczyną powstania wielu rys, ponieważ niewłaściwie zaprojektowano zbrojenie; przekroje zbrojenia elementów konstrukcji komór zgarniaczy przyjęto niższe, niż to było wymagane przez normę jako minimalny przekrój zbrojenia. W elementach żelbetowych nie zastosowano prawidłowego zbrojenia przeciwskurczowego. Ponadto obiekt osadnika wstępного poddano monitorowaniu obejmującemu pomiary geodezyjne osiadań oraz badania bloków kotwiących, pracujących w szczególnie trudnym środowisku. Na podstawie cyklu pomiarów geodezyjnych określono przemieszczenia pionowe obiektu. Instytut Techniki Budowlanej monitorował również wpływ podłoża gruntowego na konstrukcję osadnika. Wynikało z nich, że do chwili zakończenia ekspertyzy proces przemieszczeń pionowych osadnika wstępного nie uległ pełnej stabilizacji. Wielkości przemieszczeń pionowych pomierzone do końca 2010 r. nie przekraczały jednak 5,5 mm, a proces osiadania przebiegał dość równomiernie.

Wartość maksymalnych przemieszczeń pionowych okazała się mniejsza od dopuszczalnej (70 mm), a zatem SG (stan graniczny) przemieszczeń był spełniony. W wyniku obliczeń MES, z uwzględnieniem współpracy konstrukcji z podłożem, określono postać osiadania obiektu i porównano z wynikami monitoringu geodezyjnego, uzyskując dobrą zgodność. Osiadanie nie było więc główną przyczyną zarysowań ścian obiektu.



Rys. 2. Naprężenia poziome σ_{xx} w wybranych ścianach bez (a) i po wykonaniu sprężenia (b)

Fig. 2. The horizontal stresses σ_{xx} in selected walls without (a) and with pre-stressing (b)

Podsumowanie i wnioski

W przypadku, gdy zbiornik znajduje się w stanie awaryjnym, zachodzi konieczność jego wzmocnienia. Ocena rzeczywistych zapasów bezpieczeństwa może być jednak utrudniona ze względu na niepewność co do osiadania obiektu i jego wpływ na wytrzymałość konstrukcji. Celowe są więc dalsze prace badawcze dotyczące wzajemnych oddziaływań konstrukcji i podłoża [2].

Wzmocnienia omawianych konstrukcji realizowane są obecnie zazwyczaj z zastosowaniem nowoczesnych rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych, w tym sprężenia cięgnami bez przyczepności. Kierunek rozwoju technologii wzmocnień polega na podnoszeniu ich efektywności i trwałości z jednoczesnym zmniejszeniem ciężaru wzmocnienia. Atestowanie cięgien sprężających powinno dotyczyć także gwarantowanych cech w zakresie relaksacji. Podstawą wzmocnienia zbiorników jest opracowanie programu sprężania.

Literatura

- [1] Halicka A., Franczak D.: Projektowanie zbiorników żelbetowych. T. 2. Zbiorniki na cieczce, PWN, Warszawa, 2012.
- [2] Lewiński P.: Analiza współpracy żelbetowych zbiorników cylindrycznych z podłożem. Prace Naukowe ITB, Rozprawy, Wydawnictwa ITB, Warszawa 2007.
- [3] Lewiński P.: Zasady projektowania zbiorników żelbetowych na cieczce z uwzględnieniem wymagań Eurokodu 2. Przykłady obliczeń, ITB, Warszawa 2011.
- [4] Runkiewicz L.: Analizy zagrożeń, awarii i katastrof żelbetowych zbiorników i silosów. Przegląd Budowlany, nr 4/2012, s. 75 – 79.

Przyjęto do druku: 02.08.2015 r.