

dr inż. Jacek Dyczkowski^{1*)}
mgr inż. Maciej Kaźmierowski¹⁾

Analiza odkształceń ścian prostokątnych żelbetowych zbiorników na ciecze z uwzględnieniem zbrojenia przeciwskurczowego

Deformation analysis of walls of the reinforced concrete rectangular tanks for liquids taking into account shrinkage reinforcement

DOI: 10.15199/33.2015.09.14

(Oryginalny artykuł naukowy)

Streszczenie. W artykule przedstawiono wpływ zbrojenia przeciwskurczowego na odkształcalność ścian zagłębionych żelbetowych zbiorników na ciecze w stadium eksploatacyjnym. Przeprowadzono numeryczne obliczenia statyczne dwóch wariantów konstrukcji zbiornika – z uwzględnieniem i pominięciem przyjętego szacunkowo minimalnego zbrojenia przeciwskurczowego ścian i dna. Omówiono uzyskane wyniki obliczeń i sformułowano wnioski.

Słowa kluczowe: zagłębione żelbetowe prostokątne zbiorniki na ciecze, zbrojenie przeciwskurczowe, odkształcenia ścian.

Abstract. The paper presents influence of the shrinkage reinforcement on the deformability of in-the-ground reinforced concrete tanks' walls for liquids in the operating stage. Numerical calculations of two different variants of the tank structure were carried out – taking into account and omitting minimum shrinkage reinforcement. The discussion of calculation results and conclusions drawn are presented.

Keywords: reinforced concrete underground rectangular tanks for liquids, shrinkage reinforcement, wall deformations.

Prostopadłościennne, zwane potocznie i w artykule prostokątnymi, monolityczne żelbetowe zbiorniki na ciecze są często wykonywane, szczególnie w wersji zagłębionej w gruncie. Stopień zagłębienia wynika głównie z rodzaju magazynowanej cieczy i technologii użytkowania [1]. Obszerna klasa zbiorników na wodę obejmuje wyłącznie zbiorniki przykryte, często z zasypką wierzchnią.

W artykule rozważania ograniczono do zagłębionych zbiorników otwartych. Zazwyczaj są to zbiorniki przemysłowych cieczy technologicznych bądź ścieków w oczyszczalniach ścieków. W każdym przypadku występuje stały przepływ magazynowanego medium, zapewniający możliwość użytkowania ich bez konieczności przekrywania i ocieplania. Ponadto otwarty typ zbiornika na ścieki umożliwia zastosowanie mechanicznych zgarniaczy, poruszających się na poziomie korony ścian [2].

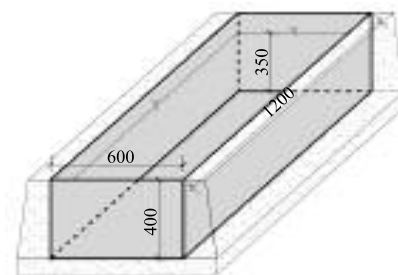
Analizowano prostokątne zbiorniki zagłębione po koronę ścian, o różnych proporcjach wymiarów a , b , h . W literaturze przedmiotu przyjmuje się zazwyczaj obliczenia statyczne zbiorników jako pracujących w stadium sprężystym współodkształ-

calnych izotropowych płyt prostokątnych [1, 3]. W pracy podjęto próbę ustalenia korzystnego wpływu zbrojenia, znajdującego się w ścianach i dnie zbiornika, na stan doraźnego odkształcenia ścian. Z uwagi na wstępny charakter opracowania, przekroje, liczbę i rozmieszczenie prętów w płytach żelbetowych przyjęto z uwzględnieniem minimalnego zbrojenia przeciwskurczowego.

Założenia i metodologia przeprowadzonej analizy

Przedmiotem analizy jest określenie odkształceń ścian zbiornika z uwzględnieniem minimalnego zbrojenia przeciwskurczowego w ścianach i dnie. Rozpatrzono przykładowy prostokątny, odkryty i zagłębiony zbiornik żelbetowy, o wymiarach w planie 6×12 m i wysokości 4 m, pokazany na rysunku 1.

Współodkształcalne ściany i dno zbiornika wykonane są z betonu klasy C30/37 oraz stali o charakterystycznej granicy plastyczności 500 MPa (gatunek B500SP). Na potrzeby wykonywanej analizy przyjęto wstępnie jednakową grubość ścian i dna 0,40 m oraz otulinę zbrojenia grubości 25 mm. Nie zastosowano występującej zazwyczaj większej grubości dna niż ścian i zwiększonej najczęściej otuliny części warstw zbrojenia ścian i dna. W ścianach oraz płycie dennej przewidziano symetryczne zbrojenie przeciwskurczowe o stop-



Rys. 1. Aksonometryczny widok zbiornika z zaznaczonym poziomem lustra wody oraz całkowitą obsypką ścian

Fig. 1. An axonometric view of the tank with marked level of the water and total haunching of the walls

niu zbrojenia 0,9%, obliczone wg zaleceń zawartych w pracach [4, 5, 6]. Ze względu na wstępny charakter przeprowadzanej analizy, w celu uproszczenia przyjęto w obliczeniach zależności określone dla osiowego rozciągania. Zastosowano zbrojenie średnicy 16 mm, rozmieszczone obustronnie podpowierzchniowo w dwóch prostokątnych kierunkach, w osiowym rozstawie 125 mm.

Obliczenia wykonano w stadium eksploatacyjnym pracy zbiornika, z uwzględnieniem oddziaływań w postaci: parcia na ściany oraz płytę denną ścieków o ciężarze objętościowym $10,80 \text{ kN/m}^3$; rozłożonego trapezowo parcia gruntu na ściany – pochodzącego od działania obciążenia obsypką

¹⁾ Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

^{*)} Autor do korespondencji:
e-mail: jacek.dyczkowski@pwr.edu.pl

ścian (piasków o $I_d = 0,5$ i ciężarze objętościowym $18,50 \text{ kN/m}^3$); śniegu ($3,80 \text{ kPa}$) oraz obciążenia technologicznego ($7,50 \text{ kPa}$). Analizę odkształceń ścian wykonano, rozpatrując dwa warianty charakteryzujące przekroje ścian i dna, które różnią się z uwagi na uwzględnienie (w wariancie I) lub pominięcie (w wariancie II) występowania zbrojenia. W związku z występowaniem w wariancie II zbrojenia przeciwskurczowego, przyjęto charakterystykę przekroju sprowadzonego A_{cs} , obliczoną wg znanych zależności wiążących pole przekroju betonu A_c , średni moduł sprężystości betonu E_{cm} , pola przekroju zbrojenia A_{s1} i A_{s2} oraz moduł sprężystości stali E_s .

Analiza wyników obliczeń

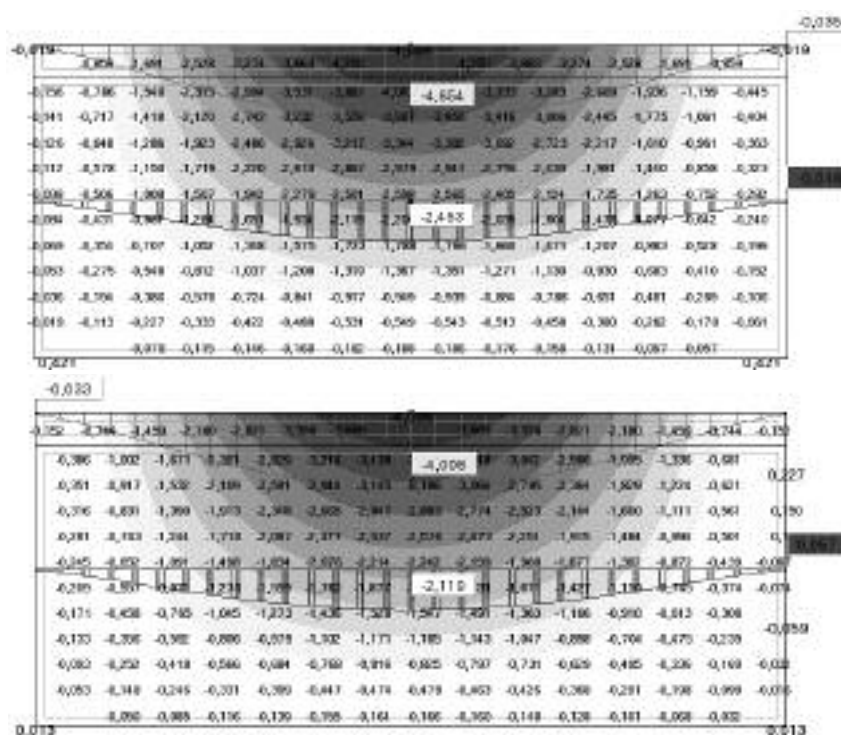
Obliczenia numeryczne konstrukcji zbiornika wykonano wg liniowej teorii sprężystości z zastosowaniem metody elementów skończonych; obliczenia przeprowadzono z użyciem programu ROBOT [7]. Przyjęto siatkę o długości oczka $0,40 \text{ m}$. Zbiornik zamodelowano na sprężystym podłożu w postaci piasku ($k_z = 50000 \text{ kN/m}^3$). Przykładowe mapy oraz wykresy przemieszczeń na poziomach połowy wysokości i koronie ścian podłużnych w przypadku wariantu I i II, przedstawiono na rysunku 2.

W tabeli zestawiono wyniki liczbowe obliczeń przemieszczeń ścian podłużnych w połowie wysokości ścian i na poziomie ich korony, uzyskane w przypadku wariantów I i II. W wariancie, w którym uwzględniono zbrojenie przeciwskurczowe, przemieszczenia poziome ścian są, w porównaniu z obliczonymi dla wariantu I – bez uwzględnienia zbrojenia, odpowiednio mniejsze: w połowie wysokości ścian o $15,6\%$ i na poziomie korony ściany o $16,0\%$.

Wnioski

Uwzględnienie w analizie statycznej żelbetowych zbiorników prostokątnych występowania niezbędnego przeciwskurczowego zbrojenia ścian i dna prowadzi do zmniejszenia obliczonych poziomych przemieszczeń ścian – zwłaszcza w ścianach podłużnych. Przyjęcie nawet najmniejszych szacowanych przekrojów takiego zbrojenia prowadzi do zmniejszenia przemieszczeń ścian o 16% .

Dużej redukcji przemieszczeń ścian – szczególnie na poziomie ich korony w zbiornikach otwartych – można oczekiwać w przypadku uwzględnienia w obliczeniach dużo większych przekrojów stali zbrojeniowej w ścianach i dnie; stal ta może być zwymiarowana wstępnie po obliczeniu konstrukcji zbiornika, jako konstrukcji



Rys. 2. Przykładowe wykresy i mapa poziomych przemieszczeń [mm] w ścianach podłużnych zbiornika w przypadku wariantu I i II

Fig. 2. Examples of diagrams and map of the horizontal displacements [mm] in the longitudinal walls of the tank for variant I and II

Wyniki obliczeń przemieszczeń ścian podłużnych [mm] w przypadku wariantów I i II

The calculation results of the displacements of the longitudinal walls [mm] for variants I and II

Miejsce dokonywanego odczytu	Warianty	
	I	II
Połowa wysokości ścian	2,45	2,12
Korona ścian	4,65	4,01

wykonanej z materiału izotropowego (betonu). Ponowne obliczenia można wówczas wykonać jak w przypadku konstrukcji zestawionej z płyt wykazujących tzw. techniczną anizotropię, przez uwzględnienie występowania w nich zbrojenia betonu.

Z uwagi na aspekty technologiczne, praktyczną korzyścią uwzględnienia technicznej anizotropii w obliczeniach omawianych zbiorników (zagłębionych, odkrytych) może być uściślenie warunków pracy urządzeń torowych, np. zgarniaczy wózkowych lub zgrzeblowych, będących wyposażeniem osadników w oczyszczalniach ścieków. Pełna analiza takich konstrukcji musi dodatkowo obejmować uwzględnienie ciężaru własnego torowiska, suwnicy oraz wywołujących przez nią wpływów dynamicznych.

W związku ze stosowaniem obecnie wydajnych i nowoczesnych metod obliczeniowych (programów komputerowych bazujących na MES), nie ma konieczności upraszczania obliczeń złożonych cienkościennych kon-

strukcji żelbetowych przez traktowanie ich jako wykonanych z materiału izotropowego (betonu). Wprowadzenie do obliczeń w elementach konstrukcyjnych technicznej anizotropii może być korzystne zwłaszcza w obiektach, w których stan odkształceń ma istotne znaczenie technologiczno-eksploatacyjne.

W celu uzyskania wyników w pełni przydatnych w praktyce projektowej, analizę odkształceń elementów konstrukcyjnych zbiorników, oprócz technicznej anizotropii, należy w przyszłości poszerzyć o wpływ zarysowania i pęcznienia betonu.

Literatura

- [1] Stachowicz A., Ziobroń W.: Podziemne zbiorniki wodociągowe, Arkady, Warszawa 1986.
- [2] Halicka A., Franczak D.: Projektowanie zbiorników żelbetowych. Zbiorniki na cieczce, PWN, Warszawa 2013.
- [3] Kobiak J., Stachurski W.: Konstrukcje żelbetowe. Tom 4, Arkady, Warszawa 1989.
- [4] Flaga K.: Zbrojenie przeciwskurczowe; obliczenia, zalecenia konstrukcyjne w budownictwie powszechnym, XVII Ogólnopolska Konferencja: Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Ustroń 2002.
- [5] Knauff M., Gołubińska A.: Prosta metoda wyznaczania minimalnego zbrojenia ze względu na zarysowanie, Inżynieria i Budownictwo, nr 6/2013.
- [6] PN-EN 1992-1-1:2008 Eurokod 2. Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [7] Robot Structural Analysis Professional, 2012.

Przyjęto do druku: 22.07.2015 r.