



## Analiza i wymiarowanie żelbetowej konstrukcji podziemnego cylindrycznego zbiornika na wodę

Joanna Mędrzak<sup>1</sup>

### STRESZCZENIE:

W pracy przedstawiono analizę i wymiarowanie żelbetowej konstrukcji podziemnego cylindrycznego zbiornika na wodę. Przyjęto posadowienie zbiornika na podłożu sprężystym. Uwzględniono również fakt, że odkształcenia poziome konstrukcji są ograniczone podatnością gruntu w kierunku poziomym. Rozważono dwie sytuacje obliczeniowe: zbiornika pełnego odkopanego i zbiornika pustego zasypanego. W ramach pracy dokonano analizy i wymiarowano poszczególne elementy konstrukcji, tj. płytę denną, płytę przekrycia i ściany boczne zbiornika, a następnie wykonano ich rysunki konstrukcyjne. Przeprowadzono także przegląd literatury z zakresu projektowania konstrukcji żelbetowych oraz analizę norm i aktualnych przepisów dotyczących projektowania żelbetowych konstrukcji zbiorników na ciecze.

### SŁOWA KLUCZOWE:

podziemny żelbetowy zbiornik; powłoka cylindryczna; wymiarowanie

## 1. Wprowadzenie

Historia zbiorników na ciecze rozpoczęła się od zbiorników służących do gromadzenia i przechowywania wody. Pierwsze z nich miały formę komór wykutych w skale, których wewnętrzne powierzchnie umacniano gliną, kamieniami lub tynkiem.

W miarę rozwoju cywilizacji zakres stosowania zbiorników na ciecze znacznie się rozszerzał. Stały się one ważnym urządzeniem w zakładach przemysłowych, służącym nie tylko do oczyszczania i filtracji wód przemysłowych oraz wody pitnej, ale także do magazynowania innych cieczy, takich jak: spirytus, gaz płynny, benzyna, różnego rodzaju kwasy, alkalia itp. Różnorodność materiałów stosowanych do konstrukcji zbiorników również się zwiększała. Do ich budowy wykorzystywano drewno, cegłę, kamień, beton i stal. Koniec XIX wieku przyniósł możliwość zastosowania nowego tworzywa konstrukcyjnego – betonu zbrojonego.

Pierwsze żelbetowe zbiorniki na ciecze konstruowano już na początku XX wieku, jednak ich popularność znacznie wzrosła dopiero w okresie międzywojennym. Obecnie są one wykonywane na szeroką skalę. Żelbetowe baseny pływakie i rekreacyjne, piaskowniki, osadniki oraz zbiorniki służące do magazynowania różnego rodzaju cieczy świadczą o różnorodności przeznaczenia i o dużym zakresie ich stosowania.

Żelbetowe zbiorniki na ciecze są przestrzennymi konstrukcjami inżynierskimi. Ich projektowanie znacznie różni się od części realizowanego projektowania budynków [1]. Kształty, wymiary i wyposażenie zbiorników na ciecze wynikają głównie z funkcji technologicznych, a specyfika projektowania konstrukcyjnego związana jest przede wszystkim z zagadnieniem szczelności.

<sup>1</sup> Akademia Techniczno–Humanistyczna, Wydział Inżynierii Materiałowej, Budownictwa i Środowiska, ul. Willowa 2, 43–309 Bielsko–Biała, e-mail: joanna.medrzak@gmail.com, orcid id: 0000-0002-1352-5266

## 2. Przedmiot opracowania

### 2.1. Opis ogólny projektowanego zbiornika

Przedmiotem opracowania jest jednokomorowy, zewnętrzny zbiornik na wodę czystą. Jego konstrukcję zaprojektowano jako żelbetową monolityczną. Założono wykonanie zbiornika podziemnego, cylindrycznego o średnicy zewnętrznej równej 9,60 m i wysokości całkowitej równej 6,20 m. Zbiornik przekryty jest płytą płaską opartą na ścianach w sposób przegubowy. Ściany utwierdzone są w odkształcalnej płycie fundamentowej. Maksymalny poziom wody w zbiorniku wynosi 5,0 m. Zbiornik posadowiony jest na głębokości 7,40 m. Na płycie przekrycia zalega warstwa gruntu o miąższości 1,20 m. Projektowany zbiornik położony jest w II strefie obciążenia śniegiem wg PN-EN 1991-3 [2]. Konstrukcję zaliczono do 4 kategorii projektowego okresu użytkowania wg PN-EN 1990 [3].

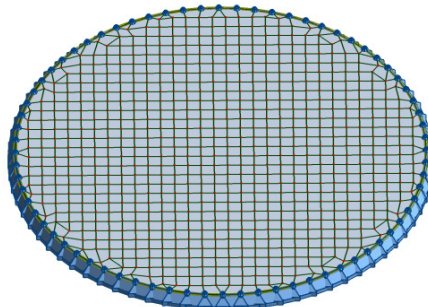
Założono posadowienie zbiornika na gruncie o współczynniku podatności podłoża  $k = 50\,000 \text{ kN/m}^3$ , a  $q_{fm} = 0,45 \text{ MPa}$ . Konstrukcja zostanie obsypana piaskiem grubym o stopniu zagęszczenia  $I_D = 0,65$ . Charakterystyczny ciężar tego gruntu wynosi  $\gamma = 18,5 \text{ kN/m}^3$ , efektywny kąt tarcia wewnętrznego jest równy  $\varphi' = 36^\circ$ , a efektywna spójność ma wartość  $c' = 0 \text{ kPa}$ . Bezpośrednio na gruncie została ułożona warstwa z chudego betonu grubości 10 cm.

Przyjęto stal zbrojeniową A-IIIN B500SP. Konstrukcję zbiornika zaprojektowano w 2 klasie szczelności. Dodatkowo musi ona spełniać wymagania dla klasy ekspozycji XC2, tzn. dla środowiska mokrego, sporadycznie suchego. Zbiornik wykonany z betonu klasy C30/37 o wodoszczelności W-8 należy uszczelnić od wewnątrz powłoką mineralną cementowo-krzemionkową o grubości 1,5 mm. Od zewnątrz konstrukcję należy zabezpieczyć przez zastosowanie zewnętrznej hydroizolacji.

### 2.2. Model obliczeniowy

Podziemny żelbetowy zbiornik cylindryczny na wodę, stanowiący konstrukcję przestrzenną, zamodelowano w przestrzeni trójwymiarowej za pomocą elementów powłokowych, tzw. paneli. Panelom nadano odpowiednie grubości i cechy materiałowe. Przyjęte elementy składowe modelu, tzn. płytę przekrycia, płytę denną oraz ściany pokryto siatką powierzchniowych elementów skończonych.

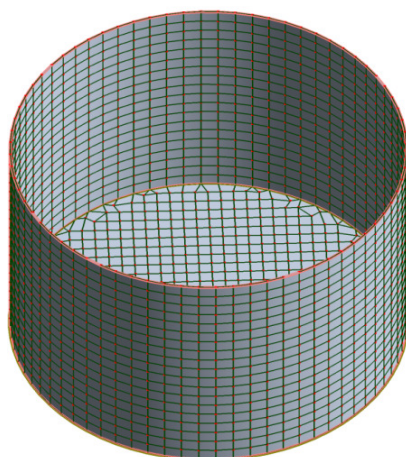
Płytę przekrycia zaprojektowano jako osobny element, podparty w sposób liniowy przegubowy na obwodzie. Przyjęto płytę przekrycia o grubości 30 cm i zamodelowano ją jako poziomy panel, przyjmując ortogonalną siatkę MES o wymiarach 30x30 cm, zagęszczoną dwukrotnie przy krawędziach ze ścianami (rys. 1).



Rys. 1. Model obliczeniowy płyty przekrycia zbiornika

Ściany zbiornika oraz płytę denną zamodelowano wspólnie ze względu na ich monolityczne połączenie. Komorę zbiornika zaprojektowano, posługując się elementami powłokowymi typu panel, kształtowanymi w formie pierścieni. Przyjęto ściany zbiornika o grubości 30 cm i pokryto je ortogonalną siatką powierzchniowych elementów skończonych o wymiarach 30x30 cm.

Zastosowano płytę denną o grubości 40 cm i również zamodelowano ją jako poziomy element, przyjmując ortogonalną siatkę MES o wymiarach 30x30 cm. Przy połączeniu ze ścianami siatkę powierzchniowych elementów skończonych zagęszczono dwukrotnie (rys. 2).



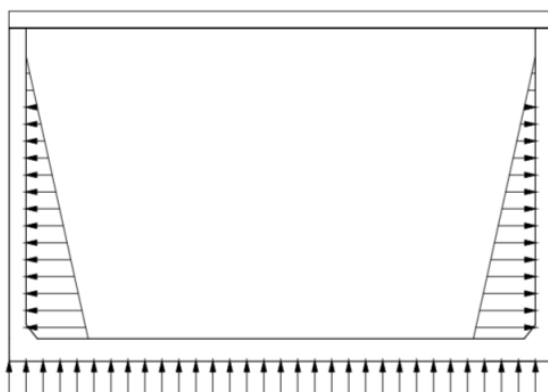
Rys. 2. Model obliczeniowy płyty dennej oraz ścian zbiornika

Przyjęto posadowienie zbiornika na podłożu sprężystym o współczynniku podatności  $k_z = 50\,000 \text{ kN/m}^3$ . Uwzględniono też fakt, że odkształcenia poziome konstrukcji są ograniczone podatnością gruntu w kierunku poziomym. Założono na całej powierzchni sprężyste podparcie w kierunku poziomym o współczynniku podatności  $k_x = 0,7k_z = 50\,000 = 0,7 \cdot 50\,000 = 35\,000 \text{ kN/m}^3$ .

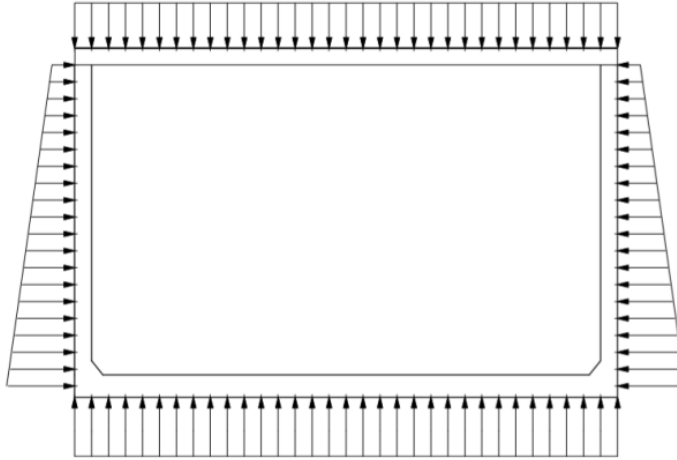
W obliczeniach pominięto otwory technologiczne związane z przejściami rur przez ściany zbiornika. Rozważono dwie sytuacje obliczeniowe: zbiornika pełnego odkopanego i zbiornika pustego zasypanego.

### 2.3. Schematy obliczeniowe

Do obliczeń przyjęto dwa schematy obciążenia zbiornika (rys. 3 i 4). Schemat pierwszy przedstawia zbiornik napełniony cieczą (nieobsypany), natomiast schemat drugi – zbiornik pusty (obsypany).



Rys. 3. Schemat I obciążenia zbiornika – zbiornik napełniony cieczą (nieobsypany)



Rys. 4. Schemat II obciążenia zbiornika – zbiornik pusty (obsypany)

#### 2.4. Obciążenia

Obciążenia zbiornika przyjęto zgodnie z aktualnymi normami pakietu Eurokod 1 oraz z normą PN-EN 1997-1 [4]. Siły wewnętrzne obliczono dla stanu granicznego nośności oraz stanu granicznego użyteczności, stosując odpowiednie kombinacje obciążeń przy uwzględnieniu współczynników częściowych.

Uwzględniono charakterystyczne oddziaływania i obciążenia wywierane na konstrukcję zbiornika, tj.: ciężar własny płyty przekrycia, płyty dennej oraz ścian, ciężar własny warstw płyty przekrycia, płyty dennej i ścian, obciążenie zasypką, obciążenie naziomu, obciążenie śniegiem, obciążenie termiczne, parcie poziome gruntu oraz parcie cieczy.

### 3. Podsumowanie

Wymiarowanie poszczególnych elementów konstrukcji wykonywano na podstawie występujących w nich sił przekrojowych, do których wyznaczenia użyto programu komputerowego. Podstawą obliczeń była norma PN-EN 1992-1-1. Zgodnie z nią dokonano analizy stanu granicznego nośności oraz stanu granicznego użyteczności, a następnie zaprojektowano: płytę denną zbrojoną dwukierunkowo prętami  $\phi = 12$  mm górą oraz dołem, płytę przekrycia zbrojoną dwukierunkowo prętami  $\phi = 12$  mm górą oraz  $\phi = 16$  mm dołem, a także ściany zbiornika zbrojone prętami  $\phi = 16$  mm w kierunku równoleżnikowym oraz  $\phi = 12$  mm w kierunku południkowym. Przeprowadzona analiza pozwoliła stwierdzić, że w żadnym elemencie nie wystąpi przebiecie, zarysowanie, a ugięcie nie przekroczy wartości dopuszczalnych.

### Literatura

- [1] Halicka A., Franczak D., Projektowanie zbiorników żelbetowych – zbiorniki na materiały sypkie, tom 1, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2011.
- [2] PN-EN 1990 Podstawy projektowania konstrukcji.
- [3] PN-EN 1992-1-3 Projektowanie konstrukcji z betonu. Silosy i zbiorniki na ciecze.
- [4] PN-EN 1997-1 Projektowanie geotechniczne.

## **Analysis and dimensioning of the reinforced concrete structure of the underground cylindrical water tank**

### **ABSTRACT:**

The paper presents the analysis and dimensioning of the reinforced concrete structure of the underground cylindrical water tank. It was assumed that the tank's foundation is placed on the elastic subgrade. Two design situations were considered: a full excavated tank and an empty buried one. As part of the work, individual structural elements were analyzed and dimensioned, i.e. base slab, cover slab and side walls of the tank, and then their construction drawings were made. A review of the literature in the field of reinforced concrete structure design and analysis of standards and current regulations regarding the design of reinforced concrete tank construction for liquids was also carried out.

### **KEYWORDS:**

underground reinforced concrete tank; cylindrical shell; dimensioning