

Anna Halicka, Dominika Franczak

2

PROJEKTOWANIE ZBIORNIKÓW ŻELBETOWYCH

ZBIORNIKI NA CIECZE



PWN

**PROJEKTOWANIE
ZBIORNIKÓW
ŻELBETOWYCH**



Anna Halicka

Dominika Franczak

PROJEKTOWANIE ZBIORNIKÓW ŻELBETOWYCH

ZBIORNIKI NA CIECZE

tom 2

Wydanie drugie,
poprawione

Projekt okładki i stron tytułowych **Kuba Sowiński**

Ilustracja na okładce **Randi Scott/shutterstock**

Recenzent **prof. dr hab. inż. Andrzej Łapko**

Wydawca **Izabela Ewa Mika**

Redaktor **Agnieszka Grabarczyk**

Produkcja **Mariola Grzywacka**

Łamanie **Grafini, Brwinów**

Książka, którą nabyłeś, jest dziełem twórcy i wydawcy. Prosimy, abyś przestrzegał praw, jakie im przysługują. Jej zawartość możesz udostępnić nieodpłatnie osobom bliskim lub osobiście znanym. Ale nie publikuj jej w internecie. Jeśli cytujesz jej fragmenty, nie zmieniaj ich treści i koniecznie zaznacz, czyje to dzieło. A kopiując jej część, rób to jedynie na użytek osobisty.

Szanujmy cudzą własność i prawo
Więcej na www.legalnakultura.pl
Polska Izba Książki

Copyright © by Wydawnictwo Naukowe PWN SA
Warszawa 2012, 2014

ISBN 978-83-01-17816-1 – t. 2
ISBN 978-83-01-17817-8 – t. 1–2

Wydanie II poprawione
Warszawa 2014

Wydawnictwo Naukowe PWN SA
tel. 22 69 54 321; faks 22 59 54 288
infolinia 801 33 33 88
e-mail: pwn@pwn.com.pl; www.pwn.pl
Druk i oprawa OSDW Azymut Sp. z o.o.

Spis treści

Wprowadzenie	IX
Podstawowe oznaczenia	XII
CZĘŚĆ I. KSZTAŁTOWANIE, OBCIĄŻENIA I SIŁY WEWNĘTRZNE, WYMIAROWANIE, KONSTRUOWANIE I ZBROJENIE	1
1. Specyfika żelbetonowych zbiorników na ciecze	3
1.1. Charakterystyka ogólna i klasyfikacja	3
1.2. Specyfika projektowania zbiorników żelbetonowych	11
1.2.1. Szczelność zbiorników	11
1.2.2. Różnorodność oddziaływań w stadiach eksploatacyjnych i przedeks- ploatacyjnych	12
1.2.3. Wrażliwość modelu obliczeniowego zbiornika na przyjętą charak- terystykę podłoża gruntowego	13
1.2.4. Trudne warunki eksploatacyjne wpływające na trwałość zbiorników	13
2. Geometria i kształty zbiorników jako konsekwencja ich funkcji – wybrane przykłady	15
2.1. Zbiorniki w oczyszczalniach ścieków	15
2.1.1. Charakterystyka ogólna	15
2.1.2. Piaskowniki	16
2.1.3. Osadniki	19
2.1.4. Bioreaktory	23
2.1.5. Złoże biologiczne	26
2.1.6. Urządzenia do oczyszczania fizykochemicznego	27
2.1.7. Wydzielone komory fermentacyjne – WKF	27
2.1.8. Inne zbiorniki do przeróbki osadu	31
2.1.9. Przepompownie ścieków	32
2.2. Zbiorniki wodociągowe	34
2.2.1. Informacje ogólne	34
2.2.2. Zbiorniki ujęć wody	34
2.2.3. Zbiorniki w stacjach uzdatniania wody	35

2.2.4. Zbiorniki wody czystej	40
2.2.5. Zbiorniki wieżowe	50
2.3. Kriogeniczne zbiorniki na gaz płynny	53
2.4. Zbiorniki w biogazowniach	54
2.5. Baseny pływackie	56
3. Oddziaływania i obciążenia wywierane na zbiorniki	58
3.1. Rodzaje oddziaływań	58
3.2. Ciśnienie cieczy w zbiorniku	59
3.3. Obciążenie gruntem	60
3.3.1. Obciążenie przekrycia zbiorników podziemnych zasypką	60
3.3.2. Parcie gruntu na ściany zbiorników podziemnych i zagłębionych	64
3.3.3. Obciążenie powierzchni nachylonych	70
3.3.4. Tarcie gruntu o ścianę	70
3.3.5. Oddziaływanie podłoża gruntowego na zbiornik	70
3.3.6. Obliczeniowe wartości parcia gruntu	80
3.4. Obciążenie wiatrem według EC1-1-4 [N4]	82
3.4.1. Prędkość wiatru i szczytowa wartość ciśnienia prędkości	82
3.4.2. Sposoby opisu obciążenia wiatrem	85
3.4.3. Ciśnienie wiatru na konstrukcje	86
3.4.4. Wypadkowa siła wiatru	93
3.4.5. Obliczeniowa wartość obciążenia wiatrem	98
3.5. Obciążenie śniegiem według EC1-1-3 [N3]	98
3.5.1. Charakterystyczne obciążenie śniegiem dachu	98
3.5.2. Współczynnik kształtu dachu	99
3.5.3. Obliczeniowa wartość obciążenia śniegiem	101
3.6. Obciążenie termiczne	101
3.6.1. Różnica między temperaturami wewnętrznej i zewnętrznej powierzchni ściany według EC1-1-5 [N5]	101
3.6.2. Różnica między temperaturą pracy konstrukcji a temperaturą początkową według EC1-1-5 [N5]	102
3.6.3. Wpływ temperatury na pękanie betonu według EC2-3 [N9]	103
3.6.4. Wpływ temperatury na właściwości betonu według EC2-3 [N9]	104
3.7. Odkształcenia wymuszone	106
3.7.1. Skurcz betonu	106
3.7.2. Samoociepniecie betonu podczas hydratacji cementu	106
3.7.3. Skutki skurczu i samoociepniecia betonu w zbiornikach	108
3.7.4. Pękanie betonu	110
4. Zbiorniki o przekroju kołowym	112
4.1. Kształty zbiorników	112
4.2. Obliczanie sił wewnętrznych w sposób analityczny	115
4.2.1. Dane podstawowe	115
4.2.2. Stan błonowy powłoki	116

4.2.3. Stan momentowy powłok	134
4.2.4. Siły wewnętrzne wynikające z obciążeń termicznych	153
4.2.5. Siły wewnętrzne wynikające z odkształceń wymuszonych w stadiach przedeksplotacyjnych	154
5. Zbiorniki prostopadłościowe	155
5.1. Kształty zbiorników	155
5.2. Obliczanie sił wewnętrznych metodą płyt wydzielonych	156
5.2.1. Informacje wstępne	156
5.2.2. Obliczanie zbiorników zwartych w planie metodą płyt wydzielonych	156
5.2.3. Obliczanie zbiorników rozległych w planie	165
5.2.4. Obliczanie sił wewnętrznych w zbiornikach prostopadłościowych od obciążeń termicznych i odkształceń wymuszonych	167
6. Obliczanie sił wewnętrznych metodą elementów skończonych	170
6.1. Informacje podstawowe	170
6.2. Modelowanie konstrukcji	172
6.3. Modelowanie obciążeń	174
6.4. Modelowanie podłoża gruntowego	176
6.4.1. Modele sprężyste	176
6.4.2. Modele nieliniowe	176
7. Wymiarowanie zbiorników	178
7.1. Kombinacje obciążeń	178
7.1.1. Kombinacje obciążeń w stanach granicznych nośności	178
7.1.2. Kombinacje obciążeń w stanach granicznych użyteczności	179
7.2. Obliczenia zbiornika jako konstrukcji żelbetowej	181
7.2.1. Założenie podstawowe	181
7.2.2. Stany graniczne nośności	181
7.2.3. Stany graniczne użyteczności	185
7.3. Obliczanie zbiorników w aspekcie współpracy z podłożem gruntowym	191
7.3.1. Kategorie geotechniczne	191
7.3.2. Stany graniczne nośności	192
7.3.3. Stany graniczne użyteczności	196
8. Szczegóły konstrukcyjne	198
8.1. Podstawowe elementy konstrukcyjne	198
8.1.1. Dno i fundamenty	198
8.1.2. Ściany	204
8.1.3. Przekrycie	207
8.2. Przerwy robocze i dylatacje	209
8.2.1. Przerwy robocze	209
8.2.2. Dylatacje	216

9. Wykonawstwo zbiorników	220
9.1. Deskowania	220
9.2. Właściwości betonu do wykonywania zbiorników	225
9.3. Uszczelnienie powierzchniowe zbiorników i ochrona przed korozją	228
9.4. Przejścia rur przez ściany i dno	232
10. Szczególne konstrukcje zbiorników	234
10.1. Zbiorniki prefabrykowane	234
10.2. Zbiorniki w formie studni opuszczanych	239
10.2.1. Dane ogólne	239
10.2.2. Technologia opuszczania	240
10.2.3. Szczegóły konstrukcyjne	242
10.2.4. Zasady obliczeń	244
10.3. Zbiorniki sprężone	250
10.3.1. Informacje podstawowe	250
10.3.2. Technologia sprężania zbiorników o przekroju kołowym	250
10.3.3. Projektowanie zbiorników sprężonych	253
10.3.4. Sprężanie kopuł przekrywających zbiorniki	262
11. Awarie i naprawy zbiorników	263
11.1. Przyczyny uszkodzeń zbiorników	263
11.2. Diagnostyka	264
11.3. Sposoby napraw i wzmacniania	265
CZĘŚĆ II. PRZYKŁADY OBLICZENIOWE	267
P1. Naziemny zbiornik cylindryczny na ciecz	271
P2. Naziemny zbiornik cylindryczny na ciecz – analiza w stadiach przedeksplo- atacyjnych	288
P3. Naziemny zbiornik cylindryczny na ciecz o temperaturze 30°C	300
P4. Wymiarowanie zbrojenia ścian naziemnego cylindrycznego zbiornika na ciecz	310
P5. Naziemny cylindryczny zbiornik na ciecz przekryty kopułą kulistą	318
P6. Podziemny cylindryczny zbiornik na ciecz przekryty kopułą kulistą	335
P7. Zbiornik w formie studni opuszczanej	339
P8. Zagłębiony otwarty zbiornik prostopadłościenny	346
Bibliografia	360

Wprowadzenie

Drugi tom podręcznika *Projektowanie zbiorników żelbetowych* dotyczy zbiorników na ciecze. Skierowany jest do projektantów konstrukcji i studentów studiów magisterskich kierunku budownictwo.

Zbiorniki na ciecze są obiektami inżynierskimi, których geometria wynika z funkcji technologicznych, a specyfika przejawia się przede wszystkim w zagadnieniach szczelności. Stąd, obok zasad obliczeń konstrukcyjnych, w książce przedstawiono zarys procesów technologicznych, zachodzących w najczęściej spotykanych typach zbiorników, oraz wpływ tych procesów na kształty i obciążenia zbiorników. Szczególną uwagę zwrócono na wszystkie aspekty szczelności zbiorników – od obliczeniowych warunków stanu granicznego użyteczności przez szczelność tworzywa betonowego, szczelność dylatacji i przejść rurociągów do sposobów uszczelnień zbiorników i ich ochrony przed korozją.

Zasady projektowania konstrukcyjnego przedstawione w podręczniku opierają się na normach europejskich z grupy EC1 (EC1-4 [N6] – obliczanie ciśnienia cieczy oraz ustalanie kombinacji obciążeń w zbiornikach, EC1-1-4 [N4] – obliczanie obciążenia wiatrem, EC1-1-5 [N5] – określanie oddziaływań termicznych, EC2 (EC2-3 [N9] – projektowanie zbiorników żelbetowych), EC7 (EC7-1 [N10] – projektowanie geotechniczne).

W drugim tomie podręcznika, podobnie jak w tomie pierwszym, autorki zaprezentowały dwie metody obliczania sił wewnętrznych, będących podstawą wymiarowania konstrukcji. Obok powszechnej dziś metody elementów skończonych pokazały metodę analityczną opartą na teorii płyt, powłok i tarcz. Uczyniły tak ze względów dydaktycznych, bowiem metody tradycyjne pozwalają na łatwe zrozumienie wpływu oddziaływań na pracę statyczną elementów zbiornika i ich wzajemną współpracę oraz umożliwiają przybliżoną ocenę prawidłowości wyników uzyskanych za pomocą MES.

Przykłady obliczeniowe wykonano w celu zilustrowania różnorodnych zagadnień: obliczono siły wewnętrzne w różnych zbiornikach – nadziemnych i podziemnych,

cylindrycznych i prostopadłościennych, przeprowadzono przykładową analizę zbiornika w stadiach przedeksplotacyjnych, zwymiarowano też przykładowy zbiornik cylindryczny, sprawdzając warunki nośności i szczelności. W obliczeniach sił wewnętrznych zastosowano metodę elementów skończonych, korzystając z komercyjnego programu inżynierskiego, pozwalającego na obliczenia w zakresie sprężystym. Zdając sobie sprawę, że obliczenia z uwzględnieniem nieliniowości dałyby wyniki z nieco lepszym przybliżeniem, autorki wybrały jednak program stosunkowo prosty i powszechnie używany. W większości przykładów autorki wykonały, dla porównania, również obliczenia metodą tradycyjną.

Wkład pracy współauterek w tomie drugim jest następujący:

- pomysł, układ, treść (rozdziały 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9.1, 9.3, 9.4, 10), dobór przykładów i ich rozwiązanie tradycyjne – Anna Halicka,
- rozdziały 6, 9.2 i obliczenia MES wszystkich przykładów – Dominika Franczak.

Powstanie książki było możliwe dzięki pomocy wielu życzliwych osób. Autorki serdecznie dziękują przede wszystkim recenzentowi – Panu prof. dr. hab. inż. Andrzejowi Łapko za trud recenzji i wiele cennych uwag. Wyrażamy wdzięczność Pani dr. hab. inż. Ewie Błazik-Borowej za konsultacje dotyczące obliczeń metodą elementów skończonych, Pani dr. hab. inż. Agnieszce Montusiewicz za konsultacje zagadnień związanych ze zbiornikami gospodarki wodno-ściekowej oraz Pani dr. inż. Jolancie Słomie za konsultacje zagadnień geotechnicznych. Składamy też podziękowania Panu dr. hab. inż. Pawłowi Lewińskiemu, prof. ITB oraz Instytutowi Techniki Budowlanej za udostępnienie wyników prac nad wpływem modelu podłoża na siły wewnętrzne zbiornika.

Książka została wzbogacona o zdjęcia i materiały udostępnione przez następujące firmy i przedsiębiorstwa:

- Betomax® Polska – uszczelnienia zbiorników żelbetowych,
- Freyssinet Polska Sp. z o.o. – sprężanie konstrukcji,
- MC-Bauchemie® – materiały do napraw konstrukcji żelbetowych,
- Integra sp.j. – uszczelnienia przejść rurociągów przez ściany,
- PERI® Polska Sp. z o.o. – szalunki do konstrukcji żelbetowych,
- Z.P.H.U. StolBud – zbiorniki prefabrykowane,
- Wolf System Sp. z o.o. – wykonawstwo zbiorników żelbetowych.

Bardzo dziękujemy tym firmom za udostępnienie materiałów.

Wyrażamy również wdzięczność zarządowi Miejskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji w Lublinie za udostępnienie materiałów archiwalnych oraz umożliwienie wykonania fotografii na terenie oczyszczalni ścieków i ujęć wody.

Dziękujemy też mgr inż. Tomaszowi Bartosikowi za udostępnienie fotografii z prywatnych archiwów.

Pracę napisałyśmy i przygotowałyśmy możliwie najstaranniej według naszej wiedzy. Zdajemy sobie jednak sprawę, że znaleźć się w niej mogą uchybienia,

nieścisłości, braki czy błędy. Podobnie jak w przypadku tomu pierwszego, przepraszając za niedociągnięcia, prosimy uważnego Czytelnika o przesyłanie wszelkich uwag na adres a.halicka@pollub.pl.

*Anna Halicka
Dominika Franczak*

Lublin, kwiecień 2012 r.

Podstawowe oznaczenia

Małe litery łacińskie

a	– przyczepność (adhezja) pomiędzy gruntem i ścianą
a_p	– wielkość wślizgu ciągną
b	– szerokość budowli (wymiar prostopadły do kierunku wiatru)
b_w	– szerokość wieńca
c	– kohezja gruntu
c'	– efektywna wartość kohezji gruntu
c_d	– współczynnik drgań konstrukcji wywołanych turbulentnym oddziaływaniem wiatru
$c_e(z)$	– współczynnik ekspozycji na wysokości z ponad poziomem terenu
c_f	– współczynniki oporu aerodynamicznego elementu lub konstrukcji
$c_{f,0}$	– współczynnik oporu aerodynamicznego elementów o przekroju kołowym bez opływu swobodnych końców
c_{fr}	– współczynnik obciążenia stycznego wiatrem
c_o	– współczynnik orografii
c_{pe}	– współczynnik ciśnienia zewnętrznego wiatru
$c_{pe,1}$	– lokalny współczynnik ciśnienia zewnętrznego wiatru
$c_{pe,10}$	– globalny współczynnik ciśnienia zewnętrznego wiatru
c_{pi}	– współczynnik ciśnienia wewnętrznego
$c_{p,0}$	– współczynnik ciśnienia zewnętrznego wiatru ustalonego bez wpływu swobodnego końca
$c_r(z)$	– współczynnik chropowatości na wysokości z ponad poziomem terenu
c_s	– współczynnik efektu niejednoczesnego wystąpienia wartości szczytowej na powierzchni konstrukcji
$c_s c_d$	– współczynnik konstrukcyjny przy obliczaniu obciążenia wiatrem
c_u	– spójność gruntu przy braku możliwości odpływu wody
$c_{u,d}$	– obliczeniowa wartość spójności gruntu w warunkach bez odpływu

d	– wymiar poziomy budowli równoległy do kierunku wiatru
e	– mimośród
$f_{ck}(t)$	– charakterystyczna wytrzymałość betonu na ściskanie w wieku t
f_{ckT}	– charakterystyczna wytrzymałość na ściskanie betonu w niskiej temperaturze
f_{ctm}	– średnia wytrzymałość betonu na rozciąganie
f_{ctx}	– wytrzymałość betonu na rozciąganie w niskiej temperaturze T
$f_{ct, eff}$	– wytrzymałość betonu na rozciąganie w chwili zarysowania
f_{pd}	– wartość obliczeniowa wytrzymałości stali sprężającej
f_{pk}	– wartość charakterystyczna wytrzymałości stali sprężającej
$f_{p0, 1k}$	– wartość charakterystyczna umownej granicy plastyczności stali sprężającej odpowiadająca odkształceniu 0,1%
f_{yk}	– wartość charakterystyczna granicy plastyczności stali zbrojeniowej
g	– ciężar własny powłoki stożkowej lub kulistej
h	– wysokość budowli
h	– wysokość płyty tworzącej ścianę zbiornika prostopadłościennego
h	– odległość liniowa danej płaszczyzny równoleżnikowej od płaszczyzny równoleżnikowej uznanej za bazową w powłoce cylindrycznej i od wierzchołka w powłoce stożkowej
h	– wysokość przekroju
h'	– odległość punktu od miejsca powstania zaburzenia w powłoce cylindrycznej
h_i	– grubość poszczególnych warstw ściany
h_o	– pionowa odległość od wierzchołka stożka do krawędzi otworu lub świetlika
h_w	– głębokość zwierciadła wody gruntowej
h_w	– wysokość przekroju poprzecznego wieńca
h_z	– grubość zasypki
k	– suma kątów niezamierzonych zakrzywień ciągu
k_x	– współczynnik podatności podłoża na równomierne odkształcenia poziome
k_z	– współczynnik podatności podłoża na równomierne odkształcenia pionowe
k_ϕ	– współczynnik podatności podłoża na nierównomierne odkształcenia pionowe
k_ψ	– współczynnik podatności podłoża na nierównomierne odkształcenia poziome
l	– długość
l	– długość płyty tworzącej ścianę zbiornika prostopadłościennego
$l_{b, rqd}$	– wymagana długość zakotwienia
l_s	– długość strefy cienia aerodynamicznego

l_0	– długość efektywna elementu ściskanego
l_0	– długość zakładu prętów
n	– parametr charakteryzujący kąt rozchodzenia się naprężeń w gruncie
p	– obciążenie pionowe równomiernie rozłożone na m^2 rzutu poziomego powłoki kulistej i stożkowej
$p(z)$	– ciśnienie cieczy lub parcie gruntu na głębokości z
p_h	– poziome ciśnienie cieczy lub parcie gruntu
$p_h(z)$	– poziome ciśnienie cieczy lub parcie gruntu na głębokości z
$p_h(z')$	– poziome parcie gruntu na odcinku z' , obliczone z uwzględnieniem wyporu wody
$\bar{p}_h$	– średnie ciśnienie lub parcie poziome na wysokości ściany
$p_h(h_w)$	– poziome parcie gruntu na poziomie zwierciadła wody gruntowej h_w
p_v	– pionowe ciśnienie cieczy lub parcie gruntu
$p_v(z)$	– pionowe ciśnienie cieczy lub parcie gruntu na głębokości z
$p_{v(q, Q)}$	– pionowe parcie gruntu wynikające z obciążenia naziomu
q	– obciążenie naziomu rozłożone na powierzchni nieograniczonej
$q_{b,0}$	– podstawowe bazowe ciśnienie prędkości wiatru
$q_p(z)$	– szczytowa wartość ciśnienia prędkości wiatru na wysokości z ponad poziomem gruntu
q_0	– jednostkowe obciążenie naziomu rozłożone na powierzchni nieograniczonej
r	– promień powłoki cylindrycznej i kulistej
r	– promień zakrzywienia ciągu
r_w	– promień wieńca
r_o	– odległość punktu na powłoce od osi obrotu mierzona w płaszczyźnie równoleżnikowej
r_1	– promień krzywizny południka
r_2	– odległość od osi obrotu do osi powłoki mierzona wzdłuż normalnej do południka
s'	– odległość punktu od miejsca powstania zaburzenia w powłoce stożkowej mierzona wzdłuż tworzącej
s_k	– wartość charakterystyczna obciążenia śniegiem gruntu
s_o	– odległość od wierzchołka stożka do krawędzi otworu lub świetlika mierzona wzdłuż tworzącej
t	– grubość powłoki, grubość płyty
t_d	– grubość powłoki cylindrycznej na dolnej krawędzi
t_g	– grubość powłoki cylindrycznej na górnej krawędzi
u	– ciśnienie porowe w gruncie
u_0	– ciśnienie hydrostatyczne wody w gruncie
$u(z')$	– ciśnienie hydrostatyczne wody w gruncie nawodnionym na odcinku $z-z'$
$v_{b,0}$	– podstawowa bazowa prędkość wiatru