

Spis treści

Wprowadzenie	XI
Podstawowe oznaczenia	XV
 CZĘŚĆ I. KSZTAŁTOWANIE, OBCIĄŻENIA I SIŁY WEWNĘTRZNE, KONSTRUOWANIE, ZBROJENIE, WYKONAWSTWO, AWARIE	 1
1. Charakterystyka ogólna zbiorników na materiały sypkie	3
1.1. Krótki rys historyczny	3
1.2. Klasyfikacja	9
1.3. Parametry geometryczne i klasyfikacja według normy EC1-4	12
1.4. Operacje technologiczne i zjawiska fizyczne w silosach i ich wpływ na rozwiązania konstrukcyjne	15
1.4.1. Napełnianie	16
1.4.2. Opróżnianie	20
1.4.3. Przepływ materiału podczas opróżniania	26
1.4.4. Wprowadzanie sprężonego powietrza	29
1.4.5. Homogenizacja	30
1.4.6. Wybuchy pyłów	30
1.4.7. Zasypywanie materiału gorącego	31
1.4.8. Mechaniczne ścieranie powierzchni komór	32
1.4.9. Izolacja termiczna	33
1.4.10. Inne instalacje	34
1.5. Charakterystyka konstrukcyjna	34
1.5.1. Silosy smukłe i średniosmukłe	34
1.5.2. Średniosmukłe i niskie silosy na materiały gruboziarniste	47
1.5.3. Silosy retencyjne	52
2. Charakterystyka ogólna zbiorników na ciecze	59
2.1. Informacje wstępne i klasyfikacja	59
2.2. Specyfika zbiorników żelbetowych	65
2.2.1. Szczelność	65

VI Spis treści

2.2.2.	Różnorodność oddziaływań w stadiach eksploatacyjnych i przedeksploatacyjnych.	66
2.2.3.	Wrażliwość modelu obliczeniowego na przyjętą charakterystykę podłoża gruntowego.	67
2.2.4.	Trudne warunki eksploatacyjne wpływające na trwałość.	67
2.3.	Geometria i kształty zbiorników jako konsekwencja ich funkcji - wybrane przykłady.	68
2.3.1.	Zbiorniki w oczyszczalniach ścieków.	68
2.3.2.	Zbiorniki wodociągowe.	85
2.3.3.	Kriogeniczne zbiorniki na gaz płynny.	99
2.3.4.	Zbiorniki w biogazowniach.	101
2.3.5.	Baseny pływackie i rekreacyjne.	102
3.	Oddziaływania i obciążenia wywierane na silosy i zbiorniki na ciecze . . .	105
3.1.	Parcie materiału sypkiego.	106
3.1.1.	Informacje ogólne.	106
3.1.2.	Klasyczne teorie obliczania parcia materiałów sypkich w silosach smukłych.	108
3.1.3.	Parcie materiału sypkiego w silosach smukłych według normy EC1-4.	110
3.1.4.	Parcie materiału sypkiego w silosach średniosmukłych i niskich według normy EC1-4.	122
3.1.5.	Parcie w silosach retencyjnych według normy EC1-4.	130
3.1.6.	Dodatkowe zalecenia zawarte w projekcie normy w pr EN 1991-4.	130
3.1.7.	Parcie w silosach na pasze i kiszonki.	131
3.1.8.	Parcie na leje i dna silosów.	133
3.2.	Ciśnienie cieczy.	140
3.3.	Obciążenie gruntem.	141
3.3.1.	Obciążenie przekrycia zbiorników podziemnych zasypką.	141
3.3.2.	Parcie gruntu na ściany zbiorników podziemnych i zagłębionych.	146
3.3.3.	Obciążenie powierzchni nachylonych.	148
3.3.4.	Tarcie gruntu o ścianę.	148
3.3.5.	Interakcja między gruntem a zbiornikiem.	149
3.4.	Obciążenie wiatrem według normy EC1-1-4.	159
3.4.1.	Prędkość wiatru i szczytowa wartość ciśnienia prędkości.	159
3.4.2.	Sposoby opisu obciążenia wiatrem.	162
3.4.3.	Ciśnienie wiatru na konstrukcje.	163
3.4.4.	Wypadkowa siła wiatru.	171
3.5.	Obciążenie śniegiem według normy EC1-1-3.	176
3.5.1.	Charakterystyczne obciążenie dachu śniegiem.	176
3.5.2.	Współczynnik kształtu dachu.	177
3.6.	Oddziaływania termiczne.	178
3.6.1.	Różnica między temperaturami wewnętrzną i zewnętrzną powierzchni ściany według normy EC1-1-5.	179

3.6.2.	Różnica między temperaturą pracy konstrukcji a temperaturą początkową według normy EC1-1-5.	180
3.6.3.	Dodatkowe efekty wynikające z odkształcalności przyściennej warstwy materiału sypkiego w silosie.	181
3.6.4.	Wpływ temperatury na właściwości materiałów konstrukcyjnych według normy EC2-3.	182
3.7.	Odształcenia wymuszone i reologiczne.	184
3.7.1.	Odształcenia wynikające ze skurczu betonu.	185
3.7.2.	Odształcenia związane z samoociepnięciem betonu podczas hydratacji cementu.	186
3.7.3.	Skutki skurczu i samoociepnięcia betonu w silosach i zbiornikach.	189
3.7.4.	Pełzanie betonu.	191
3.8.	Obciążenie wyjątkowe spowodowane wybuchem pyłów.	192
4	Obliczanie sił wewnętrznych w silosach i zbiornikach w sposób analityczny	199
4.1.	Silosy i zbiorniki o przekroju kołowym.	201
4.1.1.	Dane ogólne.	201
4.1.2.	Stan błonowy powłoki.	202
4.1.3.	Stan momentowy powłok.	221
4.1.4.	Praca tarczowa silosów i zbiorników opartych na słupach.	242
4.1.5.	Silosy wielokomorowe.	244
4.2.	Silosy i zbiorniki o przekroju innym niż kołowy.	249
4.2.1.	Silosy smukłe i średniosmukłe oraz zbiorniki wysokie.	249
4.2.2.	Komory silosów niskich i zbiorników zwartych.	262
4.2.3.	Zbiorniki rozległe w planie i silosy retencyjne.	273
4.2.4.	Zbiorniki w kształcie koryt.	274
4.3.	Siły wewnętrzne w silosach i zbiornikach od oddziaływań termicznych i odkształceń wymuszonych.	275
4.3.1.	Informacje ogólne.	275
4.3.2.	Momenty zginające wywołane różnicą temperatur ΔT_{θ}	276
4.3.3.	Siły wewnętrzne wywołane ochłodzeniem lub ociepleniem konstrukcji.	276
4.3.4.	Siły wewnętrzne od odkształceń wymuszonych.	277
5	Obliczanie sił wewnętrznych metodą elementów skończonych	285
5.1.	Informacje podstawowe.	285
5.2.	Modelowanie konstrukcji.	286
5.3.	Układy odniesienia i interpretacja wyników.	291
5.4.	Modelowanie obciążeń.	292
5.4.1.	Obciążenia prostopadłe do ścian.	292
5.4.2.	Obciążenie przekrycia gruntem i śniegiem.	294
5.4.3.	Obciążenie zbiornika wiatrem.	295
5.4.4.	Obciążenia termiczne i odkształcenia wymuszone.	295

VIII Spis treści

5.5. Modelowanie podłoża gruntowego	295
5.5.1. Modele sprężyste	295
5.5.2. Modele nieliniowe	296
6 Wymiarowanie zbiorników i silosów	299
6.1. Kombinacje oddziaływań	299
6.1.1. Kombinacje oddziaływań w stanach granicznych nośności	299
6.1.2. Kombinacje oddziaływań w stanach granicznych użytkowności	300
6.2. Sytuacje obliczeniowe	301
6.2.1. Sytuacje obliczeniowe w silosach	301
6.2.2. Sytuacje obliczeniowe w zbiornikach na ciecz	307
6.3. Obliczenia w stanach granicznych nośności	311
6.3.1. Wymiarowane przekroje i ich obciążenie	311
6.3.2. Wyboczenie i efekty drugiego rzędu w ściskanych elementach konstrukcyjnych zbiorników i silosów	314
6.4. Stany graniczne użytkowności - zarysowanie	316
6.4.1. Przyczyny zarysowań zbiorników i silosów	316
6.4.2. Warunki szczelności	316
6.4.3. Stan graniczny zarysowania	320
6.4.4. Ugięcia (deformacje) ścian	331
6.5. Obliczanie zbiorników w aspekcie współpracy z podłożem gruntowym	332
6.5.1. Kategorie geotechniczne	332
6.5.2. Stany graniczne nośności	333
6.5.3. Stany graniczne użytkowności	338
7 Szczegóły konstrukcyjne	341
7.1. Podstawowe elementy konstrukcyjne zbiorników i silosów	341
7.1.1. Materiały konstrukcyjne	341
7.1.2. Dna zbiorników oraz silosów podziemnych i zagłębionych	341
7.1.3. Dna i leje silosów i zbiorników nadziemnych	348
7.1.4. Ściany	351
7.1.5. Przekrycie	359
7.2. Przerwy robocze, przerwy skurczowe i dylatacje stałe	361
7.2.1. Przerwy robocze	361
7.2.2. Przerwy skurczowe	365
7.2.3. Dylatacje stałe	367
8 Wykonawstwo zbiorników i silosów	373
8.1. Deskowania	373
8.2. Skład i właściwości betonu	378
8.2.1. Beton do wykonywania silosów	378
8.2.2. Szczelny beton do wykonywania zbiorników na ciecz	379
8.3. Technologiczne zapewnienie szczelności zbiorników na ciecz	382
8.3.1. Uszczelnienie powierzchniowe zbiorników i ochrona przed korozją	382
8.3.2. Przejścia rur przez ściany i dno	386

8.4. Zbiorniki i silosy prefabrykowane	388
8.4.1. Dane ogólne.	388
8.4.2. Prefabrykowane przekrycia zbiorników.	389
8.4.3. Zbiorniki i silosy z prefabrykatów płaskich lub łupinowych	390
8.4.4. Zbiorniki i silosy z prefabrykatów przestrzennych	394
8.5. Zbiorniki w formie studni opuszczanych.	396
8.5.1. Dane ogólne.	396
8.5.2. Technologia opuszczania	397
8.5.3. Szczegóły konstrukcyjne.	399
8.5.4. Podstawowe zasady obliczeń.	401
9 Zbiorniki sprężone	409
9.1. Informacje podstawowe	409
9.2. Technologia sprężania zbiorników i silosów o przekroju kołowym	410
9.2.1. Sprężanie przez nawijanie.	410
9.2.2. Sprężanie odcinkowe.	412
9.2.3. Sprężanie zbiorników prefabrykowanych	417
9.3. Projektowanie zbiorników sprężonych	418
9.3.1. Zalecenia konstrukcyjne	418
9.3.2. Rola zbrojenia sprężającego i zbrojenia zwykłego	420
9.3.3. Ustalenie przekroju równoleżnikowych cięgien sprężających	421
9.3.4. Straty sprężania	421
9.3.5. Ustalenie niezbędnego poziomu równoleżnikowych naprężeń sprężających	423
9.3.6. Sprawdzenie zbiornika w sytuacjach przejściowych.	426
9.4. Sprężanie kopuł przekrywających zbiorniki i silosy.	432
10 Awarie i naprawy zbiorników na ciecz i materiały sypkie	437
10.1. Przyczyny uszkodzeń	437
10.1.1. Silosy.	437
10.1.2. Zbiorniki na ciecz.	443
10.2. Diagnostyka	446
10.3. Metody napraw i wzmocnień zbiorników i silosów.	447
10.3.1. Naprawy powierzchniowe.	447
10.3.2. Wzmocnienia	448
CZĘŚĆ II. PRZYKŁADY OBLICZENIOWE	457
P1. Smukły silos cylindryczny z dnem płaskim opartym na ścianach	461
P2. Średniosmukły silos cylindryczny na cement zasypywany w stanie gorącym, z dnem płaskim opartym na ścianach, opróżniany przy wspomaganiu aeracją	473
P3. Średniosmukły silos cylindryczny z dnem w postaci stropu grzybkowego, opróżniany niecentrycznie z dużym mimośrodem	494
P4. Niski silos o przekroju kwadratowym ze ścianami opartymi na słupach	504

X Spis treści

P5. Zagłębiony otwarty zbiornik prostopadłościenny na wodę z wariantowym ukształtowaniem połączenia ściany z fundamentem	511
P6. Zagłębiony otwarty zbiornik prostopadłościenny na wodę	517
P7. Naziemny zbiornik cylindryczny na ciecz	530
P8. Naziemny zbiornik cylindryczny na ciecz	537
P9. Naziemny zbiornik cylindryczny na ciecz przekryty kopułą	548
P10. Naziemny zbiornik cylindryczny na ciecz o temperaturze 30°C, ze ścianą utwardzoną w odkształcalnej płycie fundamentowej	555
P11. Naziemny zbiornik cylindryczny na ciecz o temperaturze 30°C, ze ścianą utwardzoną w odkształcalnej płycie fundamentowej	567
P12. Sprężony zbiornik cylindryczny na ciecz o temperaturze 30°C, ze ścianą utwardzoną w odkształcalnej płycie fundamentowej	582
CZĘŚĆ III. ZAŁĄCZNIKI	587