

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

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 EN1991-4	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 samoociepniem betonu podczas hydratacji cementu	186
3.7.3.	Skutki skurczu i samoociepni 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_M	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

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 użyteczności	300
6.2. Sytuacje obliczeniowe	301
6.2.1. Sytuacje obliczeniowe w silosach	301
6.2.2. Sytuacje obliczeniowe w zbiornikach na cieczy	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 użyteczności – 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 użyteczności	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 cieczy	379
8.3. Technologiczne zapewnienie szczelności zbiorników na cieczy	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 wspomaganie 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

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