

Anna Halicka, Dominika Franczak

1

PROJEKTOWANIE ZBIORNIKÓW ŻELBETOWYCH

ZBIORNIKI NA MATERIAŁY SYPKIE



 PWN

Projekt okładki i stron tytułowych **Kuba Sowiński**

Ilustracja na okładce **Randi Scott/shutterstock**

Redaktor prowadzący **Izabela Ewa Mika**

Redaktor **Agnieszka Grabarczyk**

Koordynator produkcji **Mariola Grzywacka**

Copyright © by Wydawnictwo Naukowe PWN SA
Warszawa 2011

ISBN 978-83-01-16649-6 t. 1
ISBN 978-83-01-16650-2

Wydawnictwo Naukowe PWN SA
02-676 Warszawa, ul Postępu 18
tel. 22 69 54 321; faks 22 59 54 288
e-mail: pwn@pwn.com.pl; www.pwn.pl

Spis treści

Wprowadzenie	IX
Podstawowe oznaczenia	XII
CZĘŚĆ I. KSZTAŁTOWANIE, OBCIĄŻENIA I SIŁY WEWNĘTRZNE, KONSTRUOWANIE I ZBROJENIE, NAPRAWY	1
1. Ogólna charakterystyka zbiorników na materiały sypkie	3
1.1. Krótki rys historyczny	3
1.2. Klasyfikacja zbiorników na materiały sypkie	8
1.3. Parametry geometryczne i klasyfikacja silosów według normy EC1-4	11
1.4. Operacje technologiczne i zjawiska fizyczne wpływające na pracę statyczną i rozwiązania konstrukcyjne silosów żelbetowych	13
1.4.1. Napełnianie silosów	13
1.4.2. Opróżnianie silosów	16
1.4.3. Przepływ materiału podczas opróżniania	22
1.4.4. Wprowadzanie sprężonego powietrza	25
1.4.5. Homogenizacja	25
1.4.6. Wybuchy pyłów	26
1.4.7. Zasypywanie materiału gorącego	26
1.4.8. Mechaniczne ścieranie powierzchni komór	27
1.4.9. Izolacja termiczna silosów	28
1.4.10. Inne instalacje w silosach	29
2. Silosy smukłe	30
2.1. Charakterystyka technologiczno-konstrukcyjna	30
2.2. Parcie materiału sypkiego na ściany silosów smukłych	43
2.2.1. Informacje ogólne	43
2.2.2. Klasyczne teorie obliczania parcia materiałów sypkich w silosach smukłych	45
2.2.3. Parcie materiału sypkiego w silosach smukłych po napełnieniu według normy EC1-4	47
2.2.4. Parcie materiału sypkiego w silosach smukłych podczas opróżniania według normy EC1-4	52

2.2.5.	Zestawienie parć w silosach smukłych	56
2.2.6.	Parcie na ściany w silosach na materiały napowietrzane według normy EC1-4	56
2.3.	Parcie na leje i dna silosów	58
2.3.1.	Parcie na lej według teorii klasycznych	58
2.3.2.	Klasyfikacja den silosów według normy EC1-4	60
2.3.3.	Zasady obliczania parć na dna silosów według normy EC1-4	61
2.4.	Pozostałe obciążenia silosów	64
2.4.1.	Wyszczególnienie obciążeń	64
2.4.2.	Obciążenie termiczne	65
2.4.3.	Odształcenia wymuszone	67
2.4.4.	Obciążenie wybuchem pyłów	68
2.5.	Siły wewnętrzne w ścianach silosów smukłych	69
2.6.	Silosy kołowe – obliczanie sił wewnętrznych w sposób tradycyjny	72
2.6.1.	Silosy jednokomorowe	72
2.6.2.	Leje stożkowe	81
2.6.3.	Silosy z komorami dzielonymi ścianami działowymi	84
2.6.4.	Baterie wielokomorowe	86
2.7.	Silosy o przekrojach niekołowych – obliczanie sił wewnętrznych w sposób tradycyjny	90
2.7.1.	Silosy jednokomorowe	91
2.7.2.	Baterie wielokomorowe	95
2.7.3.	Leje ostrosłupowe	97
3.	Silosy niskie i średniosmukłe	107
3.1.	Charakterystyka ogólna	107
3.1.1.	Silosy o przekroju kołowym	107
3.1.2.	Bunkry na materiały gruboziarniste	108
3.2.	Obciążenia wynikające z parcia materiału sypkiego według normy EC1-4	120
3.2.1.	Obciążenia symetryczne po napełnieniu	120
3.2.2.	Parcie lokalne przy napełnianiu	122
3.2.3.	Parcie symetryczne podczas opróżniania	123
3.2.4.	Efekty lokalne podczas opróżniania	124
3.2.5.	Zestawienie parć w silosach średniosmukłych i niskich	126
3.2.6.	Obciążenia den i lejów	126
3.3.	Obliczanie sił wewnętrznych w sposób tradycyjny	130
3.3.1.	Silosy o przekrojach kołowych	130
3.3.2.	Silosy o komorach kwadratowych i prostokątnych	130
4.	Silosy retencyjne	137
4.1.	Charakterystyka ogólna	137
4.2.	Parcie materiału sypkiego według normy EC1-4	138
4.2.1.	Parcie po napełnieniu	138
4.2.2.	Parcie podczas opróżniania	139
4.3.	Siły wewnętrzne w silosach retencyjnych	139

5. Obliczanie sił wewnętrznych w silosach metodą elementów skończonych	141
5.1. Informacje wstępne	141
5.2. Układy odniesienia i analiza otrzymanych wartości sił	142
5.3. Kształtowanie modelu i siatka elementów skończonych	143
5.4. Modelowanie posadowienia silosu	145
5.5. Modelowanie obciążenia parciem materiału sypkiego	146
5.6. Modelowanie innych obciążeń silosów	147
6. Wymiarowanie silosów	148
6.1. Kombinacje oddziaływań	148
6.1.1. Sytuacje obliczeniowe	148
6.1.2. Kombinacje oddziaływań w stanach granicznych nośności	149
6.1.3. Kombinacje oddziaływań w stanach granicznych użyteczności	152
6.2. Stany graniczne nośności	153
6.3. Stany graniczne użyteczności	154
6.3.1. Stan graniczny zarysowania	154
6.3.2. Efekty odkształceń wymuszonych w ścianach silosów	157
6.3.3. Stan graniczny ugięć	158
7. Elementy konstrukcyjne silosów i ich zbrojenie	159
7.1. Fundamenty	159
7.2. Ściany i leje	164
7.2.1. Wymagania ogólne dotyczące betonu i zbrojenia	164
7.2.2. Zbrojenie ścian i lejów silosów kołowych	166
7.2.3. Zbrojenie ścian i lejów silosów o przekroju prostokątnym	170
7.2.4. Wykonawstwo silosów	174
7.2.5. Silosy prefabrykowane	178
8. Sprężanie silosów	182
9. Trwałość, awarie i naprawy silosów	189
9.1. Przyczyny uszkodzeń silosów	189
9.2. Diagnostyka silosów	192
9.3. Metody napraw i wzmacniania silosów	193
CZĘŚĆ II. PRZYKŁADY OBLICZENIOWE	197
P1. Silos kołowy smukły ze ścianami sprowadzonymi do fundamentu	201
P2. Silos kołowy smukły ze ścianami sprowadzonymi do fundamentu, obliczony z uwzględnieniem skurczu betonu	221
P3. Silos kołowy smukły ze ścianami sprowadzonymi do fundamentu, przeznaczony do przechowywania materiału wsypywanego w stanie gorącym	226

P4. Silos kołowy smukły z dnem płaskim w formie stropu opartego na ścianach sprowadzonych do fundamentu	240
P5. Silos kołowy smukły ze ścianami utwierdzonymi w płycie dennej, opróżniany niecentrycznie	248
P6. Silos kołowy smukły z dnem płaskim i ze ścianami opartymi na słupach	251
P7. Silos kołowy smukły z lejem stożkowym i ze ścianami opartymi na słupach . .	259
P8. Silos smukły o przekroju prostokątnym ze ścianami opartymi na słupach . . .	265
P9. Silos kołowy średniosmukły ze ścianami sprowadzonymi do fundamentu i z dnem w postaci stropu grzybkowego	278
P10. Silos niski o przekroju kwadratowym ze ścianami opartymi na słupach	287
P11. Silos niski o przekroju prostokątnym ze ścianami opartymi na słupach i z niecentrycznym otworem wysypowym	300
P12. Silos retencyjny	308
Bibliografia	311

Wprowadzenie

Żelbetowe zbiorniki na ciecze i materiały sypkie są obiektami inżynierskimi, a więc ich projektowanie odbiega od częściej realizowanego projektowania budynków. Kształty, wymiary i wyposażenie zbiorników są podporządkowane technologii. W przypadku silosów jest to technologia składowania materiałów sypkich, w przypadku zbiorników na ciecze, będących elementami ciągów technologicznych w zakładach przemysłowych – technologia produkcji, a w obiektach gospodarki wodno-ściekowej – technologia oczyszczania ścieków lub uzdatniania wody.

Podstawą w projektowaniu konstrukcyjnym obiektów budowlanych jest określenie obciążeń i oddziaływań wywieranych na konstrukcję oraz obliczenie na ich podstawie wartości sił wewnętrznych. Zbiorniki na materiały sypkie i ciecze mają również w tym zakresie swoją specyfikę.

Wśród europejskich norm konstrukcyjnych, wprowadzonych ostatnio do zbioru Polskich Norm, znajdują się takie, które dotyczą zbiorników i silosów. W części 4 Eurokodu 1 (zwanej dalej EC1-4) [N1] zawarto sposób określania obciążeń oddziałujących na zbiorniki i silosy, a w szczególności sposób obliczania ciśnienia i parcia wywieranego przez ciecz lub składowany materiał na ściany i dno. Z kolei Eurokod 2-3 (EC2-3) [N2] dotyczy, najogólniej mówiąc, zasad projektowania i konstruowania zbiorników żelbetowych.

Istotnym etapem projektowania jest określenie sił wewnętrznych, będących podstawą wymiarowania konstrukcji, a w zbiornikach żelbetowych – podstawą doboru grubości ścian i przekroju zbrojenia. Tradycyjnie siły te obliczano – wprowadzając pewne, czasami dość znaczne uproszczenia – metodami opartymi na teorii sprężystości (teorii płyt i powłok w powiązaniu z teorią tarcz). Stosowana dziś coraz powszechniej numeryczna metoda elementów skończonych (MES) pozwala na określenie sił wewnętrznych znacznie bliższych rzeczywistym, zwłaszcza, gdy operuje się modelem trójwymiarowym. Konieczne jest jednak zarówno prawidłowe zamodelowanie obiektu i jego posadowienia oraz prawidłowe ustalenie obciążeń, jak i świadome analizowanie uzyskanych wyników.

Biorąc pod uwagę powyższe aspekty, autorki pisząc niniejszą pracę skierowaną do projektantów konstrukcji oraz studentów studiów magisterskich kierunku budownictwo, postawiły sobie trzy cele.

Pierwszym celem jest zestawienie, w sposób współczesny, danych dotyczących zbiorników na materiały sypkie i ciecze z uwypukleniem kwestii obciążeń i ich wpływu na powstające siły wewnętrzne. Tego typu konstrukcje, dość często projektowane i wykonywane, budzą duże zainteresowanie środowisk naukowych (np. organizowana jest cykliczna konferencja naukowo-techniczna „Żelbetowe i sprężone zbiorniki na ciecze i materiały sypkie”). Jednak od ponad dwudziestu lat nie ukazało się ani jedno kompleksowe opracowanie tego zagadnienia. Zdając sobie sprawę z faktu, że przyszłość obliczeń statycznych należy do MES, autorki zdecydowały się nie pomijać prezentacji metod tradycyjnych. Uczyniły to głównie ze względów dydaktycznych, gdyż metody te pozwalają na łatwe zrozumienie wpływu oddziaływań na pracę statyczną poszczególnych elementów konstrukcyjnych i wzajemną współpracę tych elementów. Ponadto umożliwiają choćby przybliżone oszacowanie, czy wyniki uzyskane za pomocą MES są prawidłowe.

Drugim celem jest przybliżenie norm europejskich dotyczących zbiorników na ciecze i materiały sypkie. Reguły i zasady zapisane w obszernej normie EC1-4, w zakresie obliczania parcia materiałów sypkich w stanie spoczynku, oparte są co prawda na klasycznej metodzie Janssena, jednak procedury obliczania parć podczas operacji technologicznych napełniania i opróżniania, zwłaszcza niecentrycznego, silosów o różnych smukłościach podane są w sposób drobiazgowy i nie zawsze czytelny.

Trzecim celem jest przedstawienie przykładów obliczeniowych zbiorników o różnorodnej geometrii. Obliczenia obejmują ustalenie obciążeń i rozkładów sił wewnętrznych, bez przejścia do etapu wymiarowania. Siły wewnętrzne autorki obliczyły metodą elementów skończonych, korzystając z komercyjnego programu inżynierskiego, pozwalającego na dość łatwe modelowanie 3D. W większości przypadków obliczenia sił wewnętrznych wykonały również metodami tradycyjnymi, porównując je z wynikami uzyskanymi za pomocą MES.

Opracowanie przygotowano w dwóch tomach: pierwszy dotyczy zbiorników na materiały sypkie, czyli silosów, drugi – zbiorników na ciecze.

Tom pierwszy, oddawany właśnie do rąk Czytelnika, składa się z dwóch części. W teoretycznej pierwszej części zaprezentowano ogólne informacje o technologii składowania materiałów sypkich i kształtowaniu silosów. Podano klasyfikacje silosów, zasady określania obciążeń takich zbiorników oraz obliczania sił wewnętrznych metodami tradycyjnymi i za pomocą MES. Zestawiono zalecenia do konstruowania i zbrojenia oraz informacje o awariach i sposobach napraw silosów. Druga część zawiera przykłady obliczania obciążeń i sił wewnętrznych w silosach smukłych, średniosmukłych, niskich i retencyjnych o przekrojach kołowych i prostokątnych.

Wkład pracy współauterek w tomie pierwszym jest następujący:

- pomysł, układ, treść (rozdziały 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9), dobór przykładów i ich rozwiązanie tradycyjne – Anna Halicka,
- rozdział 5 i obliczenia MES wszystkich przykładów – Dominika Franczak.

Książka powstała dzięki pomocy wielu życzliwych osób. Serdecznie dziękujemy za wsparcie i wiele cennych uwag przede wszystkim opiniodawcy – Panu prof. dr. hab. inż. Włodzimierzowi Starosolskiemu, który wpłynął na ostateczny kształt dzieła. Wyrażamy wdzięczność Pani dr hab. inż. Ewie Błazik-Borowej, profesor PL za konsultacje dotyczące obliczeń za pomocą MES. Książka została wzbogacona o zdjęcia i materiały udostępnione przez następujące firmy: Chemadex S.A. – przedsiębiorstwo projektujące i wykonujące silosy, Uniserv S.A. – przedsiębiorstwo budowlane realizujące silosy, Freyssinet Polska Sp. z o.o. – firmę specjalizującą się w sprzężaniu konstrukcji, MC-Bauchemie – firmę specjalizującą się w materiałach do napraw konstrukcji żelbetowych. Bardzo dziękujemy tym firmom za udostępnienie materiałów. Wyrażamy również wdzięczność władzom przedsiębiorstw, na terenie których znajdują się silosy (Cementownia w Chełmie, Lubella S.A., Megatem EC – Lublin), za umożliwienie wykonania fotografii. Dziękujemy dr. inż. Krzysztofowi Gromyszowi i dr. inż. Zbigniewowi Pająkowi 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. Przepraszając za niedociągnięcia, prosimy uważnego Czytelnika o przesyłanie wszelkich uwag na adres a.halicka@pollub.pl.

Lublin, luty 2011 r.

Anna Halicka
Dominika Franczak

Podstawowe oznaczenia

Małe litery łacińskie

- a_o – minimalna szerokość boku kwadratowego otworu wysypowego
- a_K – parametr zmienności wartości K
- a_μ – parametr zmienności wartości μ
- a_ϕ – parametr zmienności wartości ϕ
- b – szerokość przekroju
- b_o – najmniejszy wymiar otworu wysypowego
- b_M – zasięg oddziaływania momentu
- d_o – minimalna średnica okrągłego otworu wysypowego
- d_c – miarodajny wymiar komory silosu
- e – mimośród
- e_o – mimośród usytuowania otworu wysypowego
- e_c – mimośród usytuowania kanału przepływu podczas opróżniania z dużym mimośrodem
- e_f – mimośród napełniania komory silosu
- e_t – mimośród usytuowania środka ciężkości stożka nasypowego przy całkowitym napełnieniu silosu
- g – ciężar własny przypadający na jednostkę powierzchni
- g_n – składowa normalna ciężaru własnego przypadającego na jednostkę powierzchni
- $g_{n,i}$ – składowa normalna ciężaru własnego i -tej ściany przypadającego na jednostkę powierzchni
- h – wysokość
- h_o – odległość liczona od powierzchni zastępczej materiału do poziomu, gdzie stożek usypanego materiału kontaktuje się ze ścianą
- h_c – odległość od powierzchni zastępczej do miejsca styku ściany z dnem silosu

- h_h – wysokość leja
 h_i – grubość i -tej warstwy ściany
 h_{ms} – grubość warstwy przyściennej materiału sypkiego
 h_{pw} – grubość powłoki wewnętrznej
 h_{tp} – odległość od wierzchołka stożka nasypowego do najniższego punktu styku materiału ze ścianą
 h_z – wysokość ściany ponad rozpatrywanym poziomem z
 l – długość
 l_0 – długość zakotwienia
 $l_{0, \min}$ – minimalna długość zakotwienia
 $l_{b, \text{net}, h}, l_{b, \text{net}, v}$ – długości zakładów prętów poziomych i pionowych
 $l_{b, \text{rqd}}$ – wymagana długość zakotwienia
 l_h – długość tworzącej leja
 l_x, l_y – wymiary bunkra o przekroju prostokątnym w kierunku x, y
 $l_{x, d}, l_{y, d}$ – wymiary bunkra o przekroju prostokątnym w kierunku x, y w przekroju poziomym na poziomie otworu wysypowego
 $l_{x, g}, l_{y, g}$ – wymiary bunkra o przekroju prostokątnym w kierunku x, y w przekroju poziomym na poziomie styku z komorą
 n_{zsk} – siła wypadkowa naporu stycznego
 p_h – parcie poziome działające na ściany silosu
 \bar{p}_h – średnia wartość parcia poziomego na wysokości ściany
 p_{hae} – parcie poziome krawędziowe działające na ściany silosu podczas opróżniania z dużym mimośrodem
 p_{hce} – parcie poziome działające w strefie przepływu na ściany silosu podczas opróżniania z dużym mimośrodem
 p_{he} – parcie poziome działające na ściany silosu podczas opróżniania komory
 $p_{he, u}$ – zastępcze równomierne parcie poziome podczas opróżniania kołowej komory silosu
 p_{hf} – parcie poziome działające na ściany silosu po napełnieniu komory
 $p_{hf}(z)$ – parcie poziome działające na ściany silosu po napełnieniu komory na głębokości z
 $p_{hf, u}$ – zastępcze równomierne parcie poziome po napełnieniu kołowej komory silosu
 p_{hse} – parcie poziome działające w strefie bezruchu na ściany silosu podczas opróżniania z dużym mimośrodem
 p_{hT} – parcie normalne do ściany silosu wywołane szybkim zmniejszeniem temperatury na zewnątrz silosu
 p_n – parcie normalne do ścian leja
 $p_{n, i}$ – parcie normalne do i -tej ściany leja
 p_{n1} – parcie normalne do ścian leja w punkcie styku leja ze ścianą, wywołane oddziaływaniem materiału znajdującego się nad lejem

p_{n2}	– parcie normalne do ścian leja w wierzchołku leja, wywołane oddziaływaniem materiału znajdującego się nad lejem
p_{n3}	– parcia normalne do ścian leja, wywołane oddziaływaniem materiału znajdującego się w samym leju
p_{ne}	– parcie normalne do ścian leja podczas opróżniania silosu
p_{nf}	– parcie normalne do ścian leja po napełnieniu silosu
p_p	– składowa lokalna parcia lokalnego (parcie miejscowe), działającego na ściany
p_{pe}	– składowa lokalna parcia lokalnego (parcie miejscowe), działającego na ściany podczas opróżniania komory
p_{pei}	– skierowana do wnętrza silosu składowa równomierna parcia lokalnego podczas opróżniania komory
p_{pf}	– składowa lokalna parcia lokalnego (parcie miejscowe), działającego na ściany przy napełnianiu komory
$p_{pf}(z)$	– składowa lokalna parcia lokalnego (parcie miejscowe), działającego na ściany przy napełnianiu komory na wysokości z
p_{pfi}	– skierowana do wnętrza silosu składowa równomierna parcia lokalnego przy napełnianiu komory
p_{pi}	– skierowana do wnętrza silosu składowa równomierna parcia lokalnego
p_s	– skokowe parcie normalne do ścian leja
p_t	– parcie styczne do ścian leja
p_{te}	– parcie styczne do ścian leja podczas opróżniania silosu
p_{tf}	– parcie styczne do ścian leja po napełnieniu silosu
p_v	– parcie pionowe
$p_v(x = h_h)$	– parcie pionowe u nasady leja
$p_v(z)$	– parcie pionowe na głębokości z
$p_{v,x}$	– parcie pionowe w odległości x od wierzchołka leja mierzonej pionowo
$p_{vf}(z)$	– parcie pionowe po napełnieniu silosu na głębokości z
p_{vft}	– parcie pionowe po napełnieniu silosu w punkcie przejścia ściany w dno lub lej
p_{vho}	– parcie pionowe na głębokości $z = h_o$
p_{vsq}	– parcie pionowe działające na dno płaskie w silosach niskich i średniej smukłości zarówno po napełnieniu, jak i podczas opróżniania
p_w	– parcie styczne do ścian silosu
p_{wae}	– parcie styczne krawędziowe działające na ściany silosu podczas opróżniania z dużym mimośrodem
p_{wce}	– parcie styczne działające w strefie przepływu na ściany silosu podczas opróżniania z dużym mimośrodem
p_{we}	– parcie styczne działające na ściany silosu podczas opróżniania
$p_{wf}(z)$	– parcie styczne do ścian po napełnieniu komory na głębokości z

p_{wse}	– parcie styczne do ścian silosu działające w strefie bezruchu podczas opróżniania z dużym mimośrodem
q	– obciążenie zmienne
q_p	– obciążenie przekrycia przypadające na jednostkę powierzchni
r	– promień
r_h	– promień hydrauliczny przekroju
r_x	– promień przekroju poprzecznego leja na poziomie x
s	– długość boku kwadratowego pola, na którym działa parcie miejscowe
t	– grubość ściany
t_x, t_y	– współczynniki zależne od położenia środka ciężkości leja
x	– odległość pionowa od wierzchołka leja
x'	– odległość od wierzchołka leja mierzona wzdłuż tworzącej
x_o, y_o	– współrzędne położenia środka ciężkości leja w danym przekroju poziomym
x_h, y_h	– mimośrodę położenia geometrycznego środka otworu wysypowego w stosunku do geometrycznego środka przekroju leja określonego na poziomie styku leja z komorą
z	– głębokość mierzona od powierzchni zastępczej materiału
z_o	– głębokość charakterystyczna
z_s	– głębokość mierzona od najwyższego punktu kontaktu składowanego ośrodka ze ścianą

Duże litery łacińskie

A	– pole przekroju komory
A_c	– pole przekroju kanału przepływu
A_p	– pole powierzchni przekrycia
A_x	– pole przekroju leja na poziomie x
C_b	– współczynnik zwiększający parcie przy obliczaniu parcia na dno
C_h	– współczynnik zwiększający równomierne parcie poziome podczas opróżniania
C_{op}	– bazowy współczynnik obciążenia lokalnego (parcia lokalnego)
C_{pe}	– współczynnik przy obliczaniu parcia miejscowego podczas opróżniania
C_{pf}	– współczynnik przy obliczaniu parcia miejscowego po napełnieniu
C_w	– współczynnik zwiększający równomierne parcie styczne podczas opróżniania
E_{sU}	– efektywny moduł sprężystości składowanego materiału
E_w	– moduł sprężystości materiału, z którego wykonana jest ściana
F	– wartość charakterystyczna współczynnika rozporu bocznego materiału w leju

F_c	– wartość charakterystyczna współczynnika rozporu bocznego materiału w leju podczas opróżniania
F_f	– wartość charakterystyczna współczynnika rozporu bocznego materiału w leju po napełnieniu
G_A, G_B, G_C, G_D	– siły w słupach, odpowiednio, A, B, C, D
J_x, J_y	– momenty bezwładności
K	– wartość charakterystyczna współczynnika rozporu bocznego (stosunek średniej wartości parcia poziomego w danym przekroju do parcia pionowego)
K_{inf}	– dolna wartość charakterystyczna współczynnika rozporu bocznego
K_m	– średnia wartość współczynnika rozporu bocznego
L	– długość boku, rozstaw słupów
M	– moment zginający
M_N	– zginający moment południkowy
M_R	– zginający moment równoleżnikowy
N	– siła południkowa
N_d	– obciążenie działające „od dołu”
N_g	– obciążenie działające „od góry”
N_x	– siła południkowa na poziomie x
N_1	– siła południkowa pochodząca od ciężaru leja wraz z zawartym w nim materiałem
N_{pv}	– oddziaływanie parcia pionowego u nasady leja
P_{pe}	– siła wypadkowa parcia miejscowego p_{pe}
P_{pf}	– siła wypadkowa parcia miejscowego p_{pf}
$P_{t,x}$	– siła wypadkowa parcia styczego liczona od wierzchołka leja do rozpatrywanego przekroju poziomego
Q_1	– ciężar dna wraz z zawartym w nim materiałem
$Q_{1,x}$	– ciężar leja wraz z zawartym w nim materiałem poniżej poziomu x
R	– siła równoleżnikowa (pozioma)
R_1	– opór cieplny warstw umieszczonych od wewnątrz aż do wewnętrznej powierzchni ściany żelbetowej
R_2	– opór cieplnym warstw wewnętrznych oraz całej grubości ściany żelbetowej
R_x	– siła równoleżnikowa w leju stożkowym na poziomie x
R_{in}	– opór przejmowania ciepła przez powierzchnię wewnętrzną
R_{out}	– opór przejmowania ciepła przez powierzchnię zewnętrzną
R_{tot}	– całkowity opór cieplny ściany
R_x, R_y	– siły rozciągające odpowiednio w kierunku x, y
S	– współczynnik kształtu leja
ΔT	– różnica temperatur
\bar{T}	– temperatura pracy konstrukcji, średnia temperatura w ścianie

T_0	– temperatura początkowa konstrukcji (temperatura, w której konstrukcja została wykonana)
T_1	– temperatura wewnętrznej powierzchni ściany
T_2	– temperatura zewnętrznej powierzchni ściany
T_{in}	– temperatura wewnętrzna (temperatura składowanego materiału)
ΔT_M	– różnica temperatur wewnętrznej i zewnętrznej powierzchni ściany
T_{max}	– maksymalna temperatura zewnętrzna
T_{min}	– minimalna temperatura zewnętrzna
T_{out}	– temperatura zewnętrzna
U	– obwód komory
U_{sc}	– obwód kanału przepływu
U_{wc}	– długość strefy parć lokalnych
U_x	– obwód leja na poziomie x
V_h	– objętość leja

Litery greckie

α	– kąt nachylenia ścian leja lub tworzącej leja do poziomu
α_i	– kąt nachylenia i -tej ściany do poziomu
α_t	– współczynnik rozszerzalności termicznej betonu
β_{1-2}	– kąt nachylenia krawędzi między ścianami 1 i 2 do poziomu
β	– kąt wierzchołkowy leja
δ_{max}	– maksymalna wielkość ziaren składowanego materiału
ε_{cs}	– odkształcenie skurczowe
$\varepsilon_{cd,0}$	– nominalna wartość skurczu swobodnego spowodowanego wysychaniem
$\varepsilon_{cd,\infty}$	– końcowa wartość odkształcenia skurczowego spowodowanego wysychaniem
$\varepsilon_{ca,\infty}$	– końcowe odkształcenie skurczu autogenicznego
ε_{iav}	– średnie odkształcenie wymuszone, które wystąpiłoby, gdyby element był swobodny
ε_{iz}	– odkształcenie wymuszone na poziomie z
ε_t	– odkształcenie wywołane oddziaływaniem temperatury
ϕ_i	– wartość charakterystyczna kąta tarcia wewnętrznego materiału
ϕ_r	– kąt stoku naturalnego materiału sypkiego
γ	– wartość charakterystyczna ciężaru objętościowego ośrodka
γ_b	– ciężar objętościowy betonu
γ_F	– współczynnik obciążenia
φ, φ'	– kąt
$\varphi(\infty, t_o)$	– końcowa wartość współczynnika pełzania
λ_i	– współczynnik przenikania ciepła i -tej warstwy