

Spis treści

Przedmowa	XIX
Wykaz ważniejszych skrótów	XXIII
1. Ogólne zasady projektowania powłok z uwagi na stateczność	1
1.1. Wstęp	1
1.2. Nośność wyboczeniowa powłoki walcowej	5
1.2.1. Powłoka walcowa poddana ścisaniu osiowemu	5
1.2.1.1. Wprowadzenie	5
1.2.1.2. Stateczność powłoki walcowej ściskanej osiowo. Rozwiązanie analityczne	7
1.2.1.3. Stateczność powłoki walcowej ściskanej osiowo. Rozwiązanie numeryczne	11
1.2.1.4. Oszacowanie nośności wyboczeniowej powłoki walcowej ściskanej osiowo na podstawie zaleceń normowych	12
1.2.1.5. Badania laboratoryjne nośności ściskanych wzdłużnie powłok walcowych	15
1.2.1.6. Stateczność powłoki walcowej ściskanej osiowo - stany pokrytyczne	17
1.2.2. Powłoka walcowa poddana ścisaniu promieniowemu	21
1.2.2.1. Wprowadzenie	21
1.2.2.2. Rozwiązanie analityczne	21
1.2.2.3. Rozwiązanie numeryczne	23
1.2.2.4. Oszacowanie nośności wyboczeniowej na podstawie zaleceń normowych	24
1.2.3. Powłoka walcowa poddana skręcaniu	27
1.2.3.1. Wprowadzenie	27
1.2.3.2. Rozwiązanie analityczne	27
1.2.3.3. Rozwiązanie numeryczne	30
1.2.3.4. Oszacowanie nośności wyboczeniowej na podstawie zaleceń normowych	31
1.3. Nośność wyboczeniowa powłoki stożkowej	33
1.3.1. Wprowadzenie	33
1.3.2. Stateczność powłoki stożkowej ściskanej osiowo	34
1.3.3. Stateczność powłoki stożkowej obciążonej ciśnieniem na powierzchni bocznej	41

VIII Spis treści

1.3.4.	Oszacowanie nośności wyboczeniowej powłoki stożkowej ściskanej na powierzchni bocznej	43
1.3.5.	Stateczność skręcaną powłoki stożkowej	46
1.3.6.	Oszacowanie nośności wyboczeniowej skręcaną powłoki stożkowej	48
1.3.7.	Nośność wyboczeniowa powłoki stożkowej - komentarze do zapisów normowych	51
1.4.	Nośność wyboczeniowa powłoki sferycznej	53
1.4.1.	Wprowadzenie	53
1.4.2.	Stateczność powłoki sferycznej obciążonej ciśnieniem. Rozwiązanie analityczne.	55
1.4.3.	Stateczność powłoki sferycznej obciążonej ciśnieniem. Rozwiązanie numeryczne - analiza LBA	62
1.4.4.	Nośność wyboczeniowa powłok sferycznych według zaleceń ECCS.	64
1.4.5.	Analizy GMNIA powłoki w postaci wycinka sfery.	72
1.4.5.1.	Wprowadzenie	72
1.4.5.2.	Rodzaje rozpatrywanych imperfekcji.	73
1.4.5.3.	Generacja geometrii na potrzeby analizy GMNIA	74
1.4.5.4.	Analizy GMNIA	75
1.4.5.5.	Wnioski z wykonanych analiz	81
1.5.	Projektowanie powłok stalowych według kryteriów normy PN-EN 1993-1-6	82
1.5.1.	Wprowadzenie	82
1.5.2.	Stan graniczny uplastycznienia (LS1).	84
1.5.2.1.	Projektowanie naprężeniowe.	84
1.5.2.2.	Projektowanie na podstawie globalnych analiz numerycznych MNA lub GMNA	86
1.5.2.3.	Projektowanie bezpośrednie.	87
1.5.3.	Stan graniczny uplastycznienia cyklicznego (LS2).	87
1.5.3.1.	Projektowanie naprężeniowe.	87
1.5.3.2.	Projektowanie na podstawie globalnych analiz MNA i GMNA	88
1.5.3.3.	Projektowanie bezpośrednie.	89
1.5.4.	Stan graniczny wyboczenia (LS3).	89
1.5.4.1.	Wprowadzenie	89
1.5.4.2.	Wymiarowanie na podstawie stanu naprężenia.	90
1.5.4.3.	Wymiarowanie na podstawie globalnych analiz numerycznych MNA i LBA	94
1.5.4.4.	Projektowanie na podstawie globalnej analizy numerycznej GMNIA	97
1.5.5.	Stan graniczny zmęczenia wysokocyklowego (LS4).	103
1.5.5.1.	Wprowadzenie.	103
1.5.5.2.	Projektowanie naprężeniowe.	104
1.5.5.3.	Sprawdzenie stanu granicznego zmęczenia (LS4) z wykorzystaniem numerycznej analizy globalnej LA lub GNA	105
Normy.		106
Literatura.		107

2. Silosy i zasobniki	.111
2.1. Wprowadzenie	.111
2.2. Obciążenia silosów i zasobników	.119
2.2.1. Wprowadzenie	.119
2.2.2. Podstawowe pojęcia	.121
2.2.3. Normy związane z projektowaniem stalowych silosów i zasobników	.122
2.2.4. Klasyfikacja obciążeń	.122
2.2.5. Sytuacje obliczeniowe i kombinacje obciążeń wg PN-EN 1990	.125
2.2.5.1. Kombinacje oddziaływań w klasie oceny oddziaływań 1.	.127
2.2.5.2. Kombinacje oddziaływań w klasach oceny oddziaływań 2 i 3.	.127
2.2.5.3. Kombinacje oddziaływań w stanach granicznych nośności	.128
2.2.5.4. Kombinacje oddziaływań w stanach granicznych użyteczności	.132
2.2.5.5. Sytuacje projektowe przy różnych układach geometrycznych silosów.	.134
2.2.5.6. Sytuacje obliczeniowe wynikające ze specyficznych rozwiązań	.139
2.2.6. Właściwości materiałów rozdrobnionych i zbrylonych	.140
2.2.7. Obciążenia pionowych ścian	.145
2.2.7.1. Silosy smukłe	.146
2.2.7.2. Silosy niskie i średniej smukłości	.159
2.2.7.3. Silosy retencyjne	.166
2.2.7.4. Silosy zawierające materiały sypkie napowietrzane	.167
2.2.7.5. Różnice temperatury między składowanym ośrodkiem a konstrukcją ściany silosu	.167
2.2.7.6. Obciążenia w silosach prostopadłościennych	.169
2.2.8. Obciążenia stożkowych lejów i płaskich den	.169
2.2.8.1. Klasyfikacja den silosów i zasady obliczania parć na dna silosów	.169
2.2.8.2. Metoda bazowa	.171
2.2.8.3. Parcie pionowe na płaskie dna w silosach smukłych	.172
2.2.8.4. Parcie pionowe na płaskie dna w silosach niskich i średniej smukłości	.173
2.2.8.5. Parcie w lejach stromych	.174
2.2.8.6. Parcie w lejach płytkich	.175
2.2.8.7. Metody alternatywne obliczania parcia w lejach	.176
2.2.8.8. Parcie na leje przy napełnianiu	.177
2.2.8.9. Leje w silosach z materiałem napowietrzonym	.179
2.2.9. Badania właściwości materiałów rozdrobnionych i zbrylonych	.179
2.2.9.1. Dobór i przygotowanie próbek	.179
2.2.9.2. Ciężar objętościowy γ	.179
2.2.9.3. Współczynnik tarcia materiału o ścianę μ	.180
2.2.9.4. Kąt tarcia wewnętrznego materiału $\langle \varphi \rangle$	.180
2.2.9.5. Iloraz parcia bocznego K	.181
2.2.9.6. Kohezja c	.181

X Spis treści

2.2.9.7.	Bazowy współczynnik parcia lokalnego ośrodka C_{op} .	181
2.2.10.	Ustalenie właściwości materiałów rozdrobnionych i zbrylonych	182
2.2.11.	Obciążenia wybuchem pyłu. Zasady obliczeń na wybuchy.	183
2.3.	Podstawy projektowania silosów stalowych	186
2.3.1.	Wymagania ogólne.	186
2.3.2.	Zarządzanie niezawodnością	186
2.3.3.	Stany graniczne.	188
2.3.4.	Oddziaływania i czynniki środowiskowe.	189
2.3.5.	Właściwości materiałów i parametry geometryczne niezbędne w projektowaniu.	189
2.3.6.	Modelowanie silosu w celu określenia efektów oddziaływań.	190
2.3.7.	Efekty oddziaływań do weryfikacji poszczególnych stanów granicznych	190
2.3.8.	Trwałość i odporność ogniowa	191
2.3.9.	Właściwości materiałów.	191
2.3.10.	Podstawy obliczeń konstrukcyjnych i wymiarowania	192
2.3.10.1.	Stany graniczne nośności.	192
2.3.10.2.	Analiza silosów o konstrukcji powłokowej.	192
2.3.10.3.	Analiza silosów o konstrukcji skrzyniowej.	195
2.3.10.4.	Równoważne cechy ortotropowe ścian z blach profilowanych	196
2.3.10.5.	Wymiarowanie płaszczy silosów walcowych.	198
2.3.10.6.	Wymiarowanie stożkowych lejów wysypowych.	231
2.3.10.7.	Obliczanie stożkowych dachów silosów.	239
2.3.10.8.	Projektowanie styków przejściowych oraz pierścieniowych dźwigarów podporowych	240
2.3.11.	Obliczanie silosów prostokątnych	257
2.3.11.1.	Wprowadzenie.	257
2.3.11.2.	Klasyfikacja form konstrukcyjnych	258
2.3.11.3.	Nośność nieujębrowanych ścian pionowych	259
2.3.11.4.	Nośność ścian silosów wykonanych z blach ujębrowanych lub profilowanych.	259
2.3.11.5.	Silosy z wewnętrznymi ściągnięciami	262
2.3.11.6.	Nośność lejów ostrosłupowych.	265
2.3.11.7.	Żebra pionowe ścian silosów skrzyniowych	266
2.3.11.8.	Stan graniczny użyteczności silosów skrzyniowych.	267
2.3.12.	Reguły uproszczone dla silosów walcowych w klasie konsekwencji CCI	267
2.3.12.1.	Kombinacje obciążeń dla klasy konsekwencji CCI	268
2.3.12.2.	Oszacowanie efektów oddziaływań	268
2.3.12.3.	Ocena stanu granicznego nośności	268
2.3.13.	Wyrażenia na naprężenia błonowe w lejach stożkowych.	274
2.3.13.1.	Równomierne ciśnienie p_e na ściany stożka z towarzyszącym obciążeniem stycznym (tarcie) $[tp_0]$	275
2.3.13.2.	Ciśnienie zmienne liniowo w przedziale od wartości p_0 w wierzchołku do wartości p_2 w strefie przejściowej z towarzyszącym obciążeniem stycznym (tarcie) $^{p_2}/p_0$	275

2.3.13.3. Ciśnienie odcinkowo zmienne ze zmianą na poziomie β , i bez składowej stycznej	275
2.3.13.4. Wzory zgodne z ogólną teorią rozkładu parcia w leju stożkowym	276
2.3.14. Rozkład ciśnienia wiatru na ściany silosów walcowych.	277
Normy.	279
Literatura.	281
3. Zbiorniki	283
3.1. Wstęp.	283
3.2. Charakterystyka konstrukcji powłokowych.	284
3.3. Konstrukcje z blach stalowych.	289
3.3.1. Rodzaje konstrukcji z blach.	289
3.3.2. Zbiorniki na paliwa płynne.	297
3.3.3. Zbiorniki na wodę.	306
3.3.4. Zbiorniki ze stali nierdzewnej.	308
3.3.5. Zbiorniki emaliowane.	314
3.4. Charakterystyka podstawowych norm dotyczących projektowania walcowych stalowych zbiorników na ciecze.	317
3.4.1. Normy wykorzystywane w obliczaniu zbiorników stalowych.	317
3.4.2. PN-EN 1991-4:2008. Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 4: Silosy i zbiorniki.	318
3.4.3. PN-EN 1993-1-6:2007. Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-6: Wytrzymałość i stateczność konstrukcji powłokowych.	318
3.4.4. PN-EN 1993-4-2:2009. Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 4-2: Zbiorniki.	321
3.4.5. PN-EN 14015:2010. Specyfikacja dotycząca projektowania i wytwarzania na miejscu zbiorników pionowych, o przekroju kołowym, z dnem płaskim, naziemnych, stalowych, spawanych, na cieczy o temperaturze otoczenia i wyższej.	326
3.4.6. PN-EN ISO 28765:2016. Emalie szklane i porcelanowe. Projektowanie zbiorników stalowych, skręcanych śrubami, do przechowywania lub oczyszczania wody lub ścieków i osadów komunalnych lub przemysłowych.	332
3.4.7. PN-EN 13445-1:2014. Nieogrzewane płomieniem zbiorniki ciśnieniowe.	334
3.4.8. Podsumowanie.	334
3.5. Obliczanie zbiorników.	335
3.5.1. Obciążenia zbiorników.	335
3.5.2. Materiały.	337
3.5.3. Obliczenia statyczne i sprawdzanie stanów granicznych nośności	338
3.6. Zbiorniki walcowe pionowe z dachem stałym.	342
3.6.1. Kształtowanie zbiorników i zalecenia konstrukcyjne.	342
3.6.2. Obliczanie płaszcza zbiornika.	347
3.6.3. Dach zbiornika.	350
3.6.4. Dno zbiornika.	357

3.7. Zbiorniki z dachem pływającym	363
3.7.1. Kształtowanie zbiornika	363
3.7.2. Obliczanie płaszcza zbiornika	363
3.7.3. Dach zbiornika	366
3.8. Zbiorniki wieżowe na wodę	368
Normy i akty prawne	381
Literatura i źródła internetowe	383
4. Rurociągi	387
4.1. Zagadnienia ogólne	387
4.1.1. Informacje wstępne i klasyfikacja	387
4.1.2. Części składowe rurociągów	389
4.1.3. Ochrona przed korozją	391
4.1.4. Szczególne zagadnienia projektowania rurociągów innych niż podziemne	397
4.2. Podstawy projektowania	399
4.2.1. Ogólna procedura	399
4.2.2. Obliczanie naprężeń w rurociągach	400
4.2.3. Uproszczona metoda sprawdzania stanu granicznego nośności	404
4.2.4. Metoda analizy przy niespełnieniu warunków stosowania metody uproszczonej	406
4.3. Stany graniczne	407
4.3.1. Formy zniszczenia	407
4.3.2. Stany graniczne nośności	407
4.3.2.1. LSI: Rozerwanie	407
4.3.2.2. LS2: Odształcenia plastyczne	407
4.3.2.3. LS3: Deformacja trwała i warunki stateczności	408
4.3.2.4. LS4: Zmęczenie	409
4.3.2.5. LS5: Wyciek w wyniku nieszczelności	410
4.3.3. Stany graniczne użyteczności	410
4.3.3.1. LS6: Owalizacja i ugięcia	410
4.3.3.2. LS7: Drgania	410
4.3.3.3. LS8: Nieszczelność	410
4.4. Kombinacje oddziaływań i współczynniki częściowe	411
4.4.1. Postanowienia ogólne	411
4.4.2. Stany graniczne nośności	411
4.4.3. Stany graniczne użyteczności	412
4.5. Materiały i wyroby	413
4.5.1. Stal rurociągu	413
4.5.1.1. Właściwości mechaniczne i spawalnicze	413
4.5.1.2. Ciągłość	414
4.5.2. Stal spoiwa	414
4.5.2.1. Właściwości mechaniczne	414
4.5.2.2. Ciągłość	414
4.5.3. Łączniki mechaniczne	415
4.5.4. Rury i połączenia rur	415

4.5.4.1.	Asortyment i wymagania	415
4.5.4.2.	Odchyłki i karby technologiczne w rurach ze szwem.	420
4.5.4.3.	Pęknięcia rurociągów.	421
4.6.	Metody badań i projektowanie na podstawie badań.	424
4.7.	Modele obliczeniowe i metody analizy.	424
4.7.1.	Postanowienia ogólne.	424
4.7.2.	Modele prętowe i metody analizy.	426
4.7.2.1.	Uwagi wstępne.	426
4.7.2.2.	Podstawy teorii sprężystego pręta zakrzywionego.	427
4.7.2.3.	Modelowanie numeryczne w ujęciu MES.	428
4.7.3.	Metody analizy.	428
4.8.	Zagadnienia wymiarowania	429
4.8.1.	Dobór optymalnej średnicy i wymaganej grubości ścianki rury.	429
4.8.2.	Sprawdzanie stanu granicznego nośności.	432
4.8.3.	Trwałość zmęczeniowa	435
4.8.4.	Sprawdzanie stanu granicznego użyteczności	437
Normy.		438
Literatura		440
Przykład I. Silos z blach nieprofilowanych.		443
PI.1.	Dane projektowe.	443
PI.1.1.	Założenia	443
PI.1.2.	Dane techniczne.	443
PI.2.	Oddziaływania.	444
PI.2.1.	Obciążenie ciężarem własnym.	444
PI.2.2.	Oddziaływania zmienne.	444
PI.3.	Naprężenia oraz siły wewnętrzne w części walcowej silosu.	452
PI.3.1.	Południkowa siła ściskająca n_{xt} w ściance w stanie pełnego napełnienia silosu	452
PI.3.2.	Południkowa siła ściskająca n_{xe} w ściance w stanie opróżniania silosu	452
PI.3.3.	Wypadkowa obciążenia lokalnego oraz moment	452
PI.3.4.	Naprężenia ściskające w dolnej części płaszcza wywołane momentem M_{base}	452
PI.3.5.	Naprężenia ściskające w dolnej części płaszcza wywołane parciem symetrycznym przy opróżnianiu.	453
PI.3.6.	Naprężenia ściskające w ściankach silosu od obciążenia śniegiem	453
PI.3.7.	Naprężenia ściskające w ściankach silosu od ciężaru własnego	453
PI.3.8.	Wartości charakterystyczne i obliczeniowe naprężeń całkowitych	453
PI.4.	Naprężenia oraz siły wewnętrzne w fartuchu.	453
PI.4.1.	Moment M_{base} od wypadkowej obciążenia lokalnego.	453
PI.4.2.	Naprężenia ściskające w dolnej części fartucha wywołane momentem M , „„	454

XIV Spis treści

PI.4.3.	Napężenia ściskające w dolnej części fartucha wywołane parciem symetrycznym przy opróżnianiu	454
PI.4.4.	Napężenia ściskające w fartuchu od obciążenia śniegiem	454
PI.4.5.	Napężenia ściskające w fartuchu od ciężaru własnego.	454
PI.4.6.	Wartości charakterystyczne i obliczeniowe naprężeń całkowitych	454
PI.5.	Napężenia oraz siły wewnętrzne w leju.	455
PI.5.1.	Południkowa siła błonowa σ_{Ed} na jednostkę obwodu na górnym brzegu leja.	455
PI.5.2.	Maksymalne obliczeniowe napężenie ściskające σ_{u9Ed}	456
PI.6.	Warunki nośności części cylindrycznych.	458
PI.6.1.	Wyboczenie płaszcza w warunkach osiowego ściskania.	458
PI.6.2.	Wyboczenie fartucha w warunkach osiowego ściskania.	461
PI.6.3.	Niestateczność w warunkach ciśnienia zewnętrznego.	462
PI.7.	Warunki nośności leja stożkowego.	463
PI.7.1.	Rozerwanie styku przejściowego.	463
PI.7.2.	Mechanizm plastyczny w strefie przejściowej	464
PI.7.3.	Wyboczenie ścianki leja.	464
PI.8.	Warunki nośności styku przejściowego silosów podpartych równomiernie	467
PI.8.1.	Nośność plastyczna na podstawie analizy sprężystej.	467
PI.8.2.	Nośność plastyczna na podstawie analizy plastycznej.	467
PI.8.3.	Nośność ze względu na wyboczenie giętne pierścienia styku przejściowego.	468
PI.8.4.	Nośność ze względu na wyboczenie giętno-skrętne pierścienia styku przejściowego.	469
Przykład II. Silos z blach profilowanych poziomo.		471
PII.1.	Dane projektowe.	471
PII.1.1.	Założenia	471
PII.1.2.	Dane techniczne.	471
PII.2.	Oddziaływania	472
PII.2.1.	Oddziaływania stałe.	472
PII.2.2.	Oddziaływania zmienne.	472
PII.3.	Napężenia oraz siły wewnętrzne w części walcowej silosu.	480
PII.3.1.	Południkowa siła ściskająca n^* w ścianie w stanie pełnego napełnienia silosu.	480
PII.3.2.	Południkowa siła ściskająca n_{xe} w ścianie w stanie opróżniania silosu	481
PII.3.3.	Południkowa siła ściskająca n_{xm} w ścianie silosu spowodowana wypadkową obciążenia lokalnego w stanie opróżniania	481
PII.3.4.	Południkowa siła ściskająca n_k w ścianie silosu spowodowana innym oddziaływaniami.	482
PII.3.5.	Równoleżnikowa siła rozciągająca n_a w ścianie w stanie pełnego napełnienia silosu (wartość obliczeniowa).	483
PU.3.6.	Równoleżnikowa siła rozciągająca w ścianie w stanie opróżniania silosu (wartość obliczeniowa).	483

PII.4.	Warunki nośności dla płaszcza silosu	483
PII.4.1.	Nośność wyboczeniowa ścianki z pominięciem sztywności poszycia	483
PII.4.2.	Nośność wyboczeniowa ścianki z uwzględnieniem sztywności poszycia	485
PII.4.3.	Nośność wyboczeniowa ścianki, usztywnionej żebrami, traktowanej jak powłoka ortotropowa	486
PII.4.4.	Nośność wyboczeniowa ścianki pod wpływem ciśnienia zewnętrznego, częściowego podciśnienia lub oddziaływania wiatru	490
PII.4.5.	Nośność plastyczna poszycia silosu	492
Przykład III.	Zbiornik z dachem pływającym.	493
PII.1.	Dane projektowe	493
PII.2.	Kształtowanie zbiornika	494
PII.3.	Dach pływający dwupowłokowy	495
PII.3.1.	Oddziaływania stałe	497
PII.3.2.	Sprawdzenie warunków pływalności dachu	498
PII.3.2.1.	Przypadek obciążenia nr 1 - zanurzenie dachu w stanie eksploatacyjnym	499
PII.3.2.2.	Przypadek obciążenia nr 2 - stan awaryjny I - zanurzenie dachu przy obciążeniu wodą opadową	499
PII.3.2.3.	Przypadek obciążenia nr 3 - stan awaryjny II - zanurzenie dachu przy rozszczelnieniu dwóch sąsiednich komór	499
PII.3.3.	Sprawdzenie warunku nośności płyty dolnej dachu	501
PII.3.4.	Sprawdzenie warunku nośności żebra usztywniającego	502
PII.3.5.	Obliczenia modelu MES płyty dolnej dachu	504
PII.3.6.	Wymiarowanie podpieraka dachowego	506
PII.4.	Płaszcz zbiornika	512
PII.4.1.	Dobór grubości pasów płaszcza	512
PII.5.	Usztywnienie płaszcza zbiornika	518
PII.5.1.	Pierścień brzegowy	518
PII.5.2.	Oddziaływania wiatru	518
PII.5.3.	Pierścień wieńczący (wiatrowy)	521
PII.5.3.1.	Wstępne kształtowanie pierścienia z warunku sztywności	522
PII.5.3.2.	Obliczenie momentów i sił osiowych w pierścieniu oraz sprawdzenie warunków wytrzymałości i sztywności pierścienia	524
PII.5.4.	Pierścień pośrednie	528
PII.5.4.1.	Sprawdzenie stateczności lokalnej płaszcza wg PN-EN 1993-4-2	529
PII.5.4.2.	Sprawdzenie stateczności lokalnej płaszcza wg PN-EN 14015/J.4	531

XVI Spis treści

PIII.6. Dno zbiornika	533
PIII.6.1. Przyjęcie konstrukcyjne grubości blach i wymiarów pierścienia obwodowego	533
PIH.6.2. Sprawdzenie połączenia płaszcza z dnem	535
PHI.6.2.1. Zebranie obciążeń	536
PIH.6.2.2. Rozkład sił wewnętrznych w powłoce walcowej	536
PHI.6.2.3. Sprawdzenie naprężeń zastępczych w styku płaszcza z dnem	541
PIII.6.2.4. Sprawdzenie naprężeń zastępczych w płaszczu w miejscu maksymalnego momentu ujemnego	542
PIII.6.2.5. Sprawdzenie naprężeń zastępczych w płaszczu w miejscu maksymalnej siły obwodowej	543
PIII.6.2.6. Sprawdzenie naprężeń w pierścieniu obwodowym dna	544
PIII.6.2.7. Sprawdzenie naprężeń zastępczych z uwzględnieniem podatności podłoża	544
PIH.6.2.8. Obliczenie połączenia płaszcza z dnem wg PN-EN 1993-1-6/Załącznik C	548
PIH.7. Sprawdzenie stateczności położenia zbiornika	549
PIH.7.1. Określenie ciężaru skorodowanej konstrukcji zbiornika	550
PIH.7.2. Określenie wypadkowej oddziaływania wiatru na płaszczyznę zbiornika	552
PIII.7.3. Sprawdzenie stateczności pustego zbiornika na obrót	552
PIH.7.4. Sprawdzenie stateczności pustego zbiornika na przesunięcie	553
Przykład IV. Zbiornik wieżowy	555
PIV.1. Przedmiot projektu	555
PIV.2. Kształtowanie zbiornika wodnego	555
PIV.2.1. Forma i konstrukcja	555
PIV.2.2. Optymalizacja kształtu	555
PIV.3. Dane projektowe	559
PIV.4. Zestawienie obciążeń	561
PIV.5. Obliczenia statyczne	577
PIV.5.1. Założenia	577
PIV.5.2. Etap pierwszy obliczeń statycznych - stan błonowy	578
PIV.5.3. Etap drugi - Obliczenia statyczne według teorii zgięciowej - uwzględnienie zaburzeń stanu błonowego	581
PIV.6. Wymiarowanie wybranych elementów konstrukcyjnych	588
PIV.6.1. Poz. 1.-Płyta kołowa dachowa	588
PIV.6.2. Poz. 2. - Dach stożkowy zbiornika wodnego	588
PIV.6.3. Poz. 3. - Płaszcz zbiornika wodnego - powłoka stożkowa dolna	591
PIV.6.4. Poz. 4. - Płyta kołowa denną	598
PIV.6.5. Poz. 5.-Trzon konstrukcji wsporczej	599
PIY.6.5.1. Zestawienie obciążeń	599

PIV.6.5.2. Obliczenia statyczne.	.600
PIV.6.5.3. Sprawdzenie stanów granicznych powłoki walcowej trzonu.	.600
PIV.7. Stateczność położenia - sytuacja obliczeniowa EQU.	.606
PIV.7.1. Stateczność na obrót.	.606
PIV.7.2. Stateczność na przesunięcie poziome.	.608
PIV.8. Obliczenia konstrukcji zbiornika programem ARSAP.	.609
PIV.8.1. Założenia.	.609
PIV.8.2. Rezultaty obliczeń MES.	.610
PIV.8.3. Podsumowanie.	.615
Przykład V. Rurociąg magistrali przesyłowej.	.617
PV.1. Założenia.	.617
PV.2. Dobór grubości ścianki rury i sprawdzenie naprężeń wgST-IGG-0901:2013.	.618
PV.3. Obliczenia zgodnie z PN-EN 1993-4-3 - ciśnienie wewnętrzne + oddziaływania zewnętrzne.	.620
PV.4. Obliczenia zgodnie z PN-EN 1993-4-3 - bez ciśnienia wewnętrznego + oddziaływania zewnętrzne.	.630
PV.5. Analiza metodą elementów skończonych (MES).	.638
Normy i akty prawne do przykładów PI-PV.	.645
Literatura do przykładów PI-PV.	.646