

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 ścisłaniu osiowemu	5
1.2.1.1. Wprowadzenie.	5
1.2.1.2. Stateczność powłoki walcowej ścisłanej osiowo. Rozwiązanie analityczne	7
1.2.1.3. Stateczność powłoki walcowej ścisłanej osiowo. Rozwiązanie numeryczne	11
1.2.1.4. Oszacowanie nośności wyboczeniowej powłoki walcowej ścisłanej osiowo na podstawie zaleceń normowych	12
1.2.1.5. Badania laboratoryjne nośności ścisłanych wzdłużnie powłok walcowych	15
1.2.1.6. Stateczność powłoki walcowej ścisłanej osiowo – stany pokrytyczne	17
1.2.2. Powłoka walcowa poddana ścisłaniu 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 ścisłanej osiowo	34
1.3.3. Stateczność powłoki stożkowej obciążonej ciśnieniem na powierzchni bocznej	41

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.. . . .	55
1.4.3.	Stateczność powłoki sferycznej obciążonej ciśnieniem.. . . .	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 płaskich	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 ϕ_i	180
2.2.9.5. Iloraz parcia bocznego K	181
2.2.9.6. Kohezja c	181

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 prostopadłościennych	257
2.3.11.1. Wprowadzenie.	257
2.3.11.2. Klasyfikacja form konstrukcyjnych	258
2.3.11.3. Nośność nieuźebrowanych ścian pionowych	259
2.3.11.4. Nośność ścian silosów wykonanych z blach uźebrowanych lub profilowanych	259
2.3.11.5. Silosy z wewnętrznymi ściągamami	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_0 na ściany stożka z towarzyszącym obciążeniem stycznym (tarcie) μp_0	275
2.3.13.2. Ciśnienie zmienne liniowo w przedziale od wartości p_1 w wierzchołku do wartości p_2 w strefie przejściowej z towarzyszącym obciążeniem stycznym (tarcie) μp	275

2.3.13.3. Ciśnienie odcinkowo zmienne ze zmianą na poziomie h_1 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 szkliste 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. LS1: 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. Ciągliwość	414
4.5.2. Stal spoiwa	414
4.5.2.1. Właściwości mechaniczne	414
4.5.2.2. Ciągliwość	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_{xf} w ścianie w stanie pełnego napełnienia silosu	452
PI.3.2.	Południkowa siła ściskająca n_{xe} w ścianie w stanie opróżniania silosu	452
PI.3.3.	Wypadkowa obciążenia lokalnego F_{pe} oraz moment M_{base}	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_{base}	454

PI.4.3.	Naprężenia ściskające w dolnej części fartucha wywołane parciem symetrycznym przy opróżnianiu	454
PI.4.4.	Naprężenia ściskające w fartuchu od obciążenia śniegiem	454
PI.4.5.	Naprężenia ściskające w fartuchu od ciężaru własnego	454
PI.4.6.	Wartości charakterystyczne i obliczeniowe naprężeń całkowitych	454
PI.5.	Naprężenia oraz siły wewnętrzne w leju	455
PI.5.1.	Południkowa siła błonowa $n_{\phi,Ed}$ na jednostkę obwodu na górnym brzegu leja	455
PI.5.2.	Maksymalne obliczeniowe naprężenie ściskające $\sigma_{u0,Ed}$	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.	Naprężenia oraz siły wewnętrzne w części walcowej silosu	480
PII.3.1.	Południkowa siła ściskająca n_{sf} w ścianie w stanie pełnego napełnienia silosu	480
PII.3.2.	Południkowa siła ściskająca n_{se} 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_x w ścianie silosu spowodowana innym oddziaływaniami	482
PII.3.5.	Równoleżnikowa siła rozciągająca n_{of} w ścianie w stanie pełnego napełnienia silosu (wartość obliczeniowa)	483
PII.3.6.	Równoleżnikowa siła rozciągająca n_{oe} w ścianie w stanie opróżniania silosu (wartość obliczeniowa)	483

P11.4. Warunki nośności dla płaszcza silosu	483
P11.4.1. Nośność wyboczeniowa ścianki z pominięciem sztywności poszycia.	483
P11.4.2. Nośność wyboczeniowa ścianki z uwzględnieniem sztywności poszycia.	485
P11.4.3. Nośność wyboczeniowa ścianki, usztywnionej żebrami, traktowanej jak powłoka ortotropowa	486
P11.4.4. Nośność wyboczeniowa ścianki pod wpływem ciśnienia zewnętrznego, częściowego podciśnienia lub oddziaływania wiatru	490
P11.4.5. Nośność plastyczna poszycia silosu	492
Przykład III. Zbiornik z dachem pływającym	493
P111.1. Dane projektowe.	493
P111.2. Kształtowanie zbiornika	494
P111.3. Dach pływający dwupowłokowy	495
P111.3.1. Oddziaływania stałe	497
P111.3.2. Sprawdzenie warunków pływalności dachu	498
P111.3.2.1. Przypadek obciążenia nr 1 – zanurzenie dachu w stanie eksploatacyjnym	499
P111.3.2.2. Przypadek obciążenia nr 2 – stan awaryjny I – zanurzenie dachu przy obciążeniu wodą opadową	499
P111.3.2.3. Przypadek obciążenia nr 3 – stan awaryjny II – zanurzenie dachu przy rozszczelnieniu dwóch sąsiednich komór	499
P111.3.3. Sprawdzenie warunku nośności płyty dolnej dachu	501
P111.3.4. Sprawdzenie warunku nośności żebra usztywniającego	502
P111.3.5. Obliczenia modelu MES płyty dolnej dachu	504
P111.3.6. Wymiarowanie podpieraka dachowego.	506
P111.4. Płaszcz zbiornika	512
P111.4.1. Dobór grubości pasów płaszcza	512
P111.5. Usztywnienie płaszcza zbiornika	518
P111.5.1. Pierścień brzegowy	518
P111.5.2. Oddziaływania wiatru.	518
P111.5.3. Pierścień wieńczący (wiatrowy)	521
P111.5.3.1. Wstępne kształtowanie pierścienia z warunku sztywności	522
P111.5.3.2. Obliczenie momentów i sił osiowych w pierścieniu oraz sprawdzenie warunków wytrzymałości i sztywności pierścienia	524
P111.5.4. Pierścienie pośrednie	528
P111.5.4.1. Sprawdzenie stateczności lokalnej płaszcza wg PN-EN 1993-4-2	529
P111.5.4.2. Sprawdzenie stateczności lokalnej płaszcza wg PN-EN 14015/J.4.	531

PIII.6. Dno zbiornika	533
PIII.6.1. Przyjęcie konstrukcyjne grubości blach i wymiarów pierścienia obwodowego	533
PIII.6.2. Sprawdzenie połączenia płaszcza z dnem	535
PIII.6.2.1. Zebranie obciążeń	536
PIII.6.2.2. Rozkład sił wewnętrznych w powłoce walcowej	536
PIII.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
PIII.6.2.8. Obliczenie połączenia płaszcza z dnem wg PN-EN 1993-1-6/Załącznik C	548
PIII.7. Sprawdzenie stateczności położenia zbiornika	549
PIII.7.1. Określenie ciężaru skorodowanej konstrukcji zbiornika	550
PIII.7.2. Określenie wypadkowej oddziaływania wiatru na płaszczyznę zbiornika	552
PIII.7.3. Sprawdzenie stateczności pustego zbiornika na obrót	552
PIII.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 denna	598
PIV.6.5. Poz. 5. – Trzon konstrukcji wsporczej	599
PIV.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 wg ST-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