

Spis treści

Przedmowa	9
Od Autora	11
1. Wprowadzenie	13
1.1. Uwagi ogólne	13
1.2. Pojęcia podstawowe i definicje	14
1.3. Aspekty ekonomiczne stosowania konstrukcji podwieszonych	15
1.4. Zestawienie podstawowych oznaczeń i jednostek	16
2. Aspekty historyczne rozwoju mostów podwieszonych	20
2.1. Okres prób i poszukiwań	20
2.2. Rozwój mostów podwieszonych	22
2.3. Mosty podwieszone w Polsce	27
3. Zasady kształtowania mostów podwieszonych	35
3.1. Układy konstrukcyjne	35
3.1.1. Uwagi ogólne	35
3.1.2. Układy jednoprzęsłowe	35
3.1.3. Układy wieloprzęsłowe	39
3.2. Podział na przęsła	41
3.2.1. Rozwiązania klasyczne	41
3.2.2. Rozwiązania niekonwencjonalne	41
3.3. Liczba, wysokość i kształt pylonów	42
3.4. Układy olinowania	48
3.5. Rola kabli powrotnych i dodatkowych podpór w przęsłach skrajnych	52
3.6. Typy dźwigarów głównych	54
3.7. Mosty typu extradosed	56
3.8. Dobór materiałów konstrukcyjnych	57
3.9. Elementy architektury mostów podwieszonych	59
3.9.1. Pozatechniczna rola mostów	59
3.9.2. Niektóre zasady architektonicznego projektowania ustrojów podwieszonych	60
3.9.3. Fazy projektowania formy mostu podwieszonego	61
3.9.4. Udział architektów w projektowaniu mostów	63
3.9.5. Architektura kładek dla pieszych i małych obiektów podwieszonych	63
3.9.6. Architektura dużych mostów	64
3.10. Przyszłość mostów podwieszonych	64
4. Rozwiązania konstrukcyjne	65
4.1. Schematy statyczne mostów podwieszonych	65
4.2. Konstrukcja przęseł	70
4.2.1. Kształtowanie przekrojów poprzecznych przęseł mostów podwieszonych	70
4.2.2. Przęsła (pomosty) stalowe	71
4.2.3. Przęsła (pomosty) betonowe	76
4.2.4. Przęsła hybrydowe	79
4.3. Sposoby mocowania ciągów w przęsłach	79
4.3.1. Zasady ogólne	79
4.3.2. Mocowanie ciągów w przęsłach stalowych	81
4.3.3. Mocowanie ciągów podwieszających w przęsłach betonowych	86
4.4. Konstrukcja pylonów	89
4.4.1. Zagadnienia ogólne	89
4.4.2. Pylony stalowe	91
4.4.3. Pylony betonowe	98
4.5. Podpory i bloki kotwiące	106
4.6. Systemy podwieszeń	110
4.6.1. Dobór liczby want	110
4.6.2. Elementy systemu	110
4.6.3. Ciężna podwieszające	111

4.6.4. Zakotwienia cięgien	115
4.6.5. Ochrona antykorozyjna	119
4.6.6. Oslony zewnętrzne cięgien	121
4.6.7. Wewnętrzne tłumiki drgań	123
4.6.8. Spinanie want	123
4.6.9. Nowe technologie w technice ciągnowej	125
4.6.10. Podsumowanie	126
4.7. Łożyska	127
4.8. Przykłady konstrukcji obiektów	127
4.8.1. Obiekty jednopylonowe	127
4.8.2. Obiekty dwupylonowe	157
4.8.3. Obiekty wielopylonowe	175
4.8.4. Mosty o konstrukcji mieszanej	180
5. Podstawy projektowania	181
5.1. Istniejące normy i wytyczne	181
5.2. Obciążenia mostów podwieszonych	182
5.2.1. Klasyfikacja obciążeń	182
5.2.2. Obciążenia ruchome mostów drogowych i kolejowych	184
5.2.3. Obciążenie kładek dla pieszych tłumem ludzi	184
5.2.4. Wpływy termiczne w mostach podwieszonych	186
5.2.5. Imperfekcje wykonawcze	187
5.2.6. Siły w wantach	188
5.2.7. Analiza skutków awarii jednej wanty	189
5.2.8. Układy obciążeń	190
5.2.9. Proponowane wartości współczynników obciążenia	193
5.3. Zasady wymiarowania	194
5.3.1. Stany graniczne nośności i użytkowania	194
5.3.2. Kryteria komfortu przy użytkowaniu kładek dla pieszych	195
5.3.3. Kryteria użytkowania mostów podwieszonych	197
5.4. Zjawisko zmęczenia	198
5.4.1. Obciążenia zmęczeniowe	198
5.4.2. Wytrzymałość zmęczeniowa cięgien	200
5.4.3. Stan graniczny nośności z uwagi na zmęczenie	201
5.4.4. Badania zmęczeniowe cięgien	203
5.5. Bezpieczeństwo w stanach montażowych	204
5.5.1. Mosty budowane metodą wspornikową [20]	204
5.5.2. Mosty budowane metodą nasuwania podłużnego	211
5.6. Uproszczona analiza dynamiczna kładek dla pieszych	212
5.7. Zjawisko tłumienia	214
5.7.1. Czynniki tłumiące	214
5.7.2. Modele tłumienia	215
5.7.3. Miary tłumienia	216
5.8. Uwarunkowania formalnoprawne	219
6. Elementy analizy statycznej i dynamicznej	221
6.1. Klasyfikacja modeli obliczeniowych	221
6.1.1. Model obliczeniowy konstrukcji	221
6.1.2. Modele geometrii	223
6.1.3. Modele materiałów	228
6.1.4. Modele obciążeń	229
6.2. Zagadnienia nieliniowe	229
6.2.1. Klasyfikacja	229
6.2.2. Teoria ciągu	230
6.2.3. Wyężenie pylonów	237
6.2.4. Stateczność pylonów	238
6.2.5. Uwzględnienie dużych przemieszczeń układu ciągnowo-belkowego	238
6.3. Wpływ elementów niekonstrukcyjnych na sztywność konstrukcji podwieszonych	242
6.4. Wykorzystanie macierzy wpływu do optymalizacji wyężenia konstrukcji	246

6.4.1. Wprowadzenie	246
6.4.2. Sprężenie pomostu	247
6.4.3. Korekta niwelety przęsła	248
6.4.4. Napięcie want	250
6.5. Wpływ spadku podłużnego mostu na wartości sił wewnętrznych w mostach podwieszonych	252
6.6. Mosty podwieszzone zakrzywione w planie	255
6.7. Projektowanie wstępne	255
6.7.1. Uproszczony schemat statyczny	255
6.7.2. Wstępne określenie wymiarów want (kable niosących) i naprężeń	255
6.8. Oszacowanie kąta skreślenia przęsła mostu skrzynkowego z jedną płaszczyzną podwieszenia	260
6.9. Uproszczona analiza statyczna wieloprzęsłowych mostów podwieszonych	262
6.10. Analiza dynamiczna	267
6.10.1. Analiza modalna konstrukcji	267
6.10.2. Przybliżona analiza dynamiczna want	268
6.11. Dostępne narzędzia obliczeniowe	271
7. Działanie wiatru na mosty podwieszane	273
7.1. Uwagi ogólne	273
7.2. Opis wiatru	273
7.3. Identyfikacja środowiska wiatrowego w rejonie projektowanej przeprawy mostowej	277
7.3.1. Procedura postępowania	277
7.3.2. Działanie wiatru na konstrukcję mostu w ujęciu przepisów normowych	278
7.3.3. Metodyka postępowania w przypadku wykorzystania pomiarów stacji meteorologicznej wg [293]	279
7.4. Statyczne oddziaływanie wiatru	281
7.4.1. Aerostatyka	281
7.4.2. Zwichrzenie	282
7.4.3. Dywergencja aerodynamiczna (flutter dywergencyjny)	282
7.5. Zjawiska dynamiczne	284
7.5.1. Uwagi ogólne	284
7.5.2. Odrywanie wirów (vortex shedding)	285
7.5.3. Trzepotanie (buffeting)	286
7.5.4. Niestabilność skrętna i flutter	286
7.5.5. Galopowanie	286
7.6. Wzbudzenie wiatrowo-deszczowe	287
7.7. Teoria cienkiego płata	291
7.8. Przybliżone obliczenia aerodynamiczne mostów podwieszonych	294
7.8.1. Opis podstawowych zjawisk aerodynamicznych	294
7.8.2. Estymacja podstawowych parametrów dynamicznych mostu	299
7.8.3. Przykłady przybliżonych obliczeń aerodynamicznych	300
7.9. Aerodynamiczne badania modelowe	302
7.9.1. Rodzaje, zakres i przedmiot badań	302
7.9.2. Instrumentarium badawcze	305
7.9.3. Skalowanie i podobieństwo modelowe	306
7.9.4. Zastosowanie wyników badań	309
7.10. Procedura uwzględniania działania wiatru w projektowaniu mostów podwieszonych	312
7.11. Sposoby ograniczania drgań mostów podwieszonych lub ich elementów	315
7.11.1. Ograniczanie drgań ustroju nośnego	315
7.11.2. Ograniczanie drgań want	316
8. Przykłady obliczeń projektowych	317
8.1. Kładka podwieszona z pomostem stalowym	317
8.1.1. Opis obiektu	317
8.1.2. Podstawowe założenia obliczeniowe — oznaczenia	318
8.1.3. Charakterystyki mechaniczne stosowanych materiałów	319
8.1.4. Układy obciążeń	320
8.1.5. Charakterystyki geometryczne elementów konstrukcji	320
8.1.6. Model obliczeniowy konstrukcji	321

8.1.7. Obliczenia statyczne konstrukcji nośnej w fazie eksploatacji	321
8.1.8. Wymiarowanie	331
8.1.9. Ugięcia konstrukcji	334
8.1.10. Analiza konstrukcji z uwagi na wymuszenie drgań	337
8.2. Kładka podwieszona z pomostem betonowym	340
8.2.1. Opis obiektu	340
8.2.2. Podstawowe założenia obliczeniowe i oznaczenia	341
8.2.3. Charakterystyki mechaniczne stosowanych materiałów	344
8.2.4. Układy obciążeń	344
8.2.5. Charakterystyki geometryczne elementów konstrukcji	344
8.2.6. Model obliczeniowy konstrukcji kładki	345
8.2.7. Obliczenia statyczne konstrukcji nośnej w fazie eksploatacji	347
8.2.8. Wymiarowanie	361
8.2.9. Ugięcia przęsła	377
8.2.10. Analiza dynamiczna konstrukcji	378
9. Technologia budowy mostów podwieszonych	382
9.1. Specyfika budowy mostów podwieszonych	382
9.2. Budowa fundamentów pylonów	384
9.3. Budowa pylonów	389
9.3.1. Uwagi ogólne	389
9.3.2. Pylony małych obiektów	390
9.3.3. Pylony stalowe dużych mostów	391
9.3.4. Pylony betonowe dużych mostów	391
9.4. Budowa ustrojów nośnych	405
9.4.1. Technologie stosowane przy wznoszeniu ustrojów nośnych	405
9.4.2. Wykonywanie ustrojów nośnych na rusztowaniach	408
9.4.3. Montaż ustrojów nośnych na konstrukcjach lub podporach tymczasowych	409
9.4.4. Wspornikowe metody budowy ustrojów nośnych	411
9.4.5. Wykonywanie ustrojów nośnych metodą nasuwania	423
9.5. Instalacja olinowania	433
9.5.1. Podstawy teoretyczne montażu olinowania	433
9.5.2. Techniki montażu	435
9.5.3. Końcowa rektyfikacja sił w wantach i parametrów geometrycznych pomostu	442
9.6. Przykłady zastosowanych technologii budowy	443
9.6.1. Realizacja stalowej kładki dla pieszych we Wrocławiu Leśnicy [28]	443
9.6.2. Realizacja kładki Krzywy Kij z pomostem z betonu sprężonego [25]	448
9.6.3. Montaż wspornikowy przęsła głównego i instalacja want w moście III Tysiąclecia im. Jana Pawła II w Gdańsku	454
9.6.4. Budowa mostu Ting Kau w Hongkongu [82], [226]	464
9.6.5. Budowa mostu Rion-Antirion w Grecji	467
10. Wyposażenie mostów podwieszonych	472
10.1. Elementy wyposażenia pylonów	472
10.1.1. Informacje ogólne	472
10.1.2. Dźwigi inspekcyjne	472
10.1.3. Pieszce ciągi komunikacyjne w pylonach	477
10.1.4. Pozostałe wyposażenie	481
10.1.5. Urządzenia obce. Tarasy widokowe i reklamy	481
10.2. Elementy wyposażenia przęsła	483
10.3. Wyposażenie systemu olinowania	485
11. Badania i kontrola stanu technicznego mostów podwieszonych	488
11.1. Obszary badań mostów podwieszonych	488
11.2. Badania odbiorcze	490
11.2.1. Zakres badań i stosowana aparatura	490
11.2.2. Próbne obciążenie statyczne	493
11.2.3. Próbne badania dynamiczne	496
11.3. Obserwacja ukończonego obiektu	503
11.4. Wytyczne w zakresie utrzymania mostów podwieszonych	507
11.5. Przeglądy mostów podwieszonych	508
Literatura	513