
Spis treści

Przedmowa	12
1. Wstęp	15
2. Wymagania ogólne stawiane mostom dla pieszych	31
2.1. Wstęp	31
2.2. Wymagania zabezpieczenia ruchu oraz wymagania geometryczne i funkcjonalne stawiane mostom dla pieszych wg przepisów krajowych	31
2.3. Wytyczne projektowania mostów dla pieszych wg BD 29/03 (2003)	36
2.4. Obciążenia statyczne mostów dla pieszych spowodowane tłumem pieszych i innymi oddziaływaniami ruchomymi	42
3. Architektura i estetyka współczesnych mostów dla pieszych	46
3.1. Wstęp	46
3.2. Elementy architektury, estetyki i piękna w projektowaniu mostów dla pieszych	47
3.3. Integracja z otoczeniem	48
3.4. Oświetlenie i kolorystyka	50
3.5. Elegancja i czytelność formy	56
3.6. Proporcje i harmonia	57
3.7. Dodatkowe elementy architektoniczne wpływające na estetykę mostów dla pieszych	59
3.8. Uwagi dodatkowe	63
4. Nowoczesne materiały konstrukcyjne i rozwiązania elementów konstrukcyjnych	70
4.1. Uwagi wstępne	70
4.2. Betony nowej generacji	71
4.3. Kompozyty polimerowe	73

4.4.	Materiały metalowe	81
4.4.1.	Informacje wstępne	81
4.4.2.	Właściwości mechaniczne lin stalowych	86
4.4.3.	Cięgna stalowe we współczesnych, odpowiedzialnych mostach dla pieszych	92
4.5.	Drewno i materiały drewnopodobne	100
5.	Przykłady współczesnych rozwiązań architektonicznych, materiałowych i konstrukcyjnych mostów dla pieszych . . .	105
5.1.	Uwagi wstępne	105
5.2.	Realizacje zagraniczne	105
5.3.	Realizacje krajowe	152
5.4.	Inne ciekawe rozwiązania architektoniczno-konstrukcyjne	175
6.	Mechanika mostów dla pieszych w ujęciu systemowym . . .	201
6.1.	Pojęcie systemu i modelu matematycznego systemu. Schemat statyczny/dynamiczny układu	201
6.2.	Podstawowe założenia i metody normalizacji wielkości (parametrów) występujących w blokach wejścia WE, układu U i wyjścia WY oraz wzajemnych relacji między nimi, przyjęte w eurokodach	204
6.2.1.	Informacje wstępne	204
6.2.2.	Przyjęta metoda oraz podstawowe założenia	206
6.3.	Blok wejścia WE – oddziaływań (obciążeń, wymuszeń) na obiekty (konstrukcje, ustroje) mostowe	207
6.3.1.	Uwagi wstępne	207
6.3.2.	Klasyfikacja ogólna (mechaniczna) oddziaływań na obiekty budowlane	208
6.3.3.	Obciążenia własne i użytkowe	212
6.3.4.	Oddziaływania stałe i zmienne	212
6.3.5.	Oddziaływania statyczne i dynamiczne	213
6.3.6.	Oddziaływania deterministyczne i losowe (przypadkowe)	213
6.3.7.	Modele normowe oddziaływań na obiekty budowlane	215
6.3.8.	Podstawowe zasady ustalania wartości oddziaływań i ich rozmieszczenia na konstrukcji	215
6.4.	Blok układu U – obiektów (konstrukcji, ustrojów) mostowych	223
6.4.1.	Modele właściwości mechanicznych i fizycznych materiałów konstrukcyjnych – modele więzów wewnętrznych w materiałach konstrukcyjnych	223
6.5.	Blok wyjścia WY – odpowiedzi obiektów (konstrukcji, ustrojów) mostowych	241
6.5.1.	Charakterystyka ogólna bloku wyjścia	241
6.5.2.	Podstawowe przypadki statyki wybranych ustrojów płaskich	243
6.6.	Warunki (stany graniczne) nośności i użyteczności	258
6.6.1.	Według norm krajowych PN i prac związanych	258
6.6.2.	Według PN-EN 1990 Eurokod: Podstawy projektowania konstrukcji (2004)	260
7.	Charakterystyki dynamiczne	265
7.1.	Wprowadzenie	265
7.2.	Badania własne charakterystyk dynamicznych różnych mostów dla pieszych	274

7.2.1.	Informacje wstępne	274
7.2.2.	Rozwiązania konstrukcyjne badanych mostów dla pieszych	275
7.2.3.	Częstotliwości i postaci drgań własnych	275
7.2.4.	Logarytmiczne dekrementy tłumienia drgań	281
7.2.5.	Wnioski z badań i obliczeń	282
7.3.	Porównanie charakterystyk dynamicznych różnych mostów dla pieszych	283

8. Oddziaływania dynamiczne na mosty dla pieszych spowodowane przez pojedynczego człowieka

8.1.	Geometria ruchu człowieka podczas chodu i biegu oraz ogólna analiza sił i momentów spowodowanych chodem lub biegiem	294
8.1.1.	Przypadek nieruchomego podłoża lub zaniedbywanie małych drgań podłoża	294
8.1.2.	Przypadek ruchomego (drgającego) podłoża przy małych amplitudach drgań	299
8.2.	Oddziaływania dynamiczne generowane przez człowieka w różnych warunkach jego aktywności, wynikające z podstawowych zasad mechaniki	300
8.2.1.	Podstawowe zasady i twierdzenia dynamiki (kinetyki) układu punktów materialnych	300
8.2.2.	Przypadek podłoża nieruchomego lub zaniedbywanie małych drgań konstrukcji podtrzymującej	302
8.2.3.	Przypadek znaczących drgań konstrukcji podtrzymującej	304
8.3.	Przegląd wyników badań dynamicznych podstawowych modeli dotyczących oddziaływań dynamicznych generowanych przez jedną osobę, bez uwzględnienia wpływu sprzężenia zwrotnego drgający most – poruszający się człowiek	305
8.3.1.	Urządzenia i stanowiska pomiarowe	305
8.3.2.	Modele oddziaływania dynamicznego przyjmowane zwykle w badaniach	310
8.3.3.	Chód i bieg	312
8.3.4.	Rytmiczne podskoki (skoki w miejscu)	328
8.3.5.	Zestawienia porównawcze wartości współczynników α_{ij}	337
8.3.6.	Rytmiczne przysiady	339
8.3.7.	Rytmiczne kołysanie się	344
8.4.	Wymuszenia intencjonalne, złośliwe	345
8.5.	Metody wyznaczania odpowiedzi mostów dla pieszych przy różnych formach aktywności pojedynczego człowieka	347
8.5.1.	Wyznaczanie odpowiedzi mostów dla pieszych z wykorzystaniem programów MES	347
8.5.2.	Przybliżone metody szacowania maksymalnych wartości amplitud przyspieszeń drgań generowanych przez pojedynczego człowieka	349

9. Podstawowe przypadki oddziaływania zbiorowego ludzi na pomost bez uwzględnienia interakcji drgająca konstrukcja – poruszający się ludzie

9.1.	Uwagi wstępne	351
9.2.	Współczynnik zwiększający M uwzględniający efekt dynamicznego oddziaływania więcej niż jednej osoby	355

10.	Oddziaływania dynamiczne generowane przez jedną lub więcej osób z uwzględnieniem interakcji drgająca konstrukcja – poruszający się człowiek lub interakcji ludzi między sobą	362
10.1.	Zjawisko synchronizacji (dostosowania się) poruszającego się człowieka po drgającej konstrukcji	362
10.2.	Wyniki badań i obserwacji zjawiska synchronizacji	364
10.2.1.	Badania laboratoryjne na ruchomych (drgających) platformach	364
10.2.2.	Badania i obserwacje na obiektach zrealizowanych	371
10.3.	Modele zjawiska synchronizacji (dostosowania się) opracowane przez różnych autorów	376
10.3.1.	Model Grundmanna i in. uwzględniający prawdopodobieństwo zaistnienia danej sytuacji	376
10.3.2.	Model Dallarda i in. dla mostu Millennium Bridge przy drganiach bocznych	378
10.3.3.	Model Nakamury dla mostu T-bridge przy drganiach bocznych	379
10.3.4.	Model liniowego sprzężenia zwrotnego Tadli (2004) – drgania boczne	383
10.3.5.	Model Newlanda – drgania boczne o małych amplitudach	385
10.3.6.	Model Robertsa	388
10.3.7.	Liczba Scrutona zjawiska synchronizacji w warunkach interakcji drgający most – piesi	390
10.3.8.	Model Żółtowskiego – drgania pionowe	392
10.3.9.	Modele własne zjawiska interakcji drgający most – poruszający się człowiek	397
11.	Oddziaływanie wiatru na mosty dla pieszych	428
11.1.	Struktura wiatrów silnych w warstwie przyziemnej	428
11.1.1.	Wstęp	428
11.1.2.	Właściwości powietrza	428
11.1.3.	Prędkość wiatru	429
11.1.4.	Prędkość charakterystyczna wiatru – makrorejonizacja wiatrowa	431
11.1.5.	Pionowy profil wiatru i kategorie chropowatości terenu	432
11.1.6.	Ciśnienie prędkości wiatru i współczynnik ekspozycji	437
11.1.7.	Parametry fluktuacji prędkości wiatru	438
11.1.8.	Ustalenia Eurokodu PN-EN 1991-1-4 (2008) w zakresie struktury i parametrów charakteryzujących wiatr w warstwie przyziemnej	441
11.1.9.	Funkcje korelacji	447
11.1.10.	Funkcje gęstości widmowej mocy	449
11.2.	Krótką charakterystyka oddziaływania wiatru na obiekty mostowe	456
11.3.	Statyczne oddziaływania wiatru na smukłe elementy konstrukcyjne obiektów mostowych	457
11.4.	Buffeting i jego ujęcie obliczeniowe	462
11.4.1.	Uwagi wstępne	462
11.4.2.	Modelowanie oddziaływania wiatru wg teorii quasi-ustalonej	463
11.4.3.	Podstawowe modele ujęcia obliczeniowego oddziaływania wiatru spowodowanego turbulencją atmosferyczną spotykane najczęściej w normach i dokumentach normalizacyjnych	475

11.5.	Wybrane modele sprzężeń aerodynamicznych na przykładzie jednoprzęsłowych, smukłych obiektów poziomych, przy ustalonym napływie powietrza atmosferycznego	488
11.5.1.	Model quasi-ustalony	488
11.5.2.	Klasyczne zagadnienie flatteru giętego, skrętnego lub giętno-skrętnego przęsła mostu wiszącego lub podwieszonoego w modelach Scanlana	492
11.5.3.	Wzory uproszczone na wyznaczenie prędkości krytycznej flatteru V_c^f	495
11.6.	Wzbudzenie wirowe obiektów smukłych i jego ujęcie obliczeniowe	497
11.6.1.	Uwagi wstępne	497
11.6.2.	Wybrane modele własne krytycznego wzbudzenia wirowego obiektów smukłych o przekrojach poprzecznych zwartych	506
11.6.3.	Odpowiedź konstrukcji prostej lub złożonej z konstrukcji prostych w warunkach krytycznego wzbudzenia wirowego	511
11.7.	Inne zagadnienia związane z oddziaływaniem wiatru na obiekty mostowe	515
11.7.1.	Wzbudzenie wiatrowo-deszczowe	515
11.7.2.	Interferencja aerodynamiczna	516
11.7.3.	Procedura postępowania w pracach studialnych, dotyczących wpływów wiatru na obiekty mostowe podatne na dynamiczne oddziaływanie wiatru	516
12.	Kryteria komfortu użytkowania	517
12.1.	Wstęp	517
12.2.	Problematyka oceny wpływu drgań na ludzi	517
12.2.1.	Zakres częstotliwości drgań $1 \div 80$ Hz	517
12.2.2.	Zakres częstotliwości drgań $0,063 \div 1,0$ Hz	523
12.3.	Specyfika oceny wpływu drgań na ludzi w przypadku mostów i mostów dla pieszych	524
12.4.	Kryteria komfortu vibracyjnego dla mostów	526
12.5.	Kryteria komfortu vibracyjnego i statycznego w odniesieniu do mostów dla pieszych	528
12.5.1.	Przegląd kryteriów komfortu spotykanych w literaturze i dokumentach normalizacyjnych do 2005 roku	528
12.5.2.	Kryteria komfortu vibracyjnego wg innych norm i dokumentów normalizacyjnych	532
12.5.3.	Własne kryteria komfortu vibracyjnego dla pieszych na mostach z uwzględnieniem prawdopodobieństwa generowania drgań	541
12.5.4.	Przykłady oceny spełnienia kryteriów komfortu vibracyjnego różnych mostów dla pieszych przy wpływach wiatru	557
12.6.	Wnioski i uwagi końcowe	564
13.	Tłumiki drgań	566
13.1.	Mechaniczne i aerodynamiczne sposoby redukcji drgań budowli i konstrukcji	566
13.2.	Tłumiki wiskotyczne (hydrauliczne, lepkie) pasywne	567
13.3.	Tłumiki wiskotyczne półaktywne	570
13.4.	Strojone tłumiki masowe (STM)	574
13.4.1.	Podstawy teorii strojonego tłumika masowego	574
13.4.2.	Model matematyczny układu ze strojonymi tłumikami masowymi	577

13.4.3.	Podstawowe zależności dla pojedynczego STM przy jednej postaci drgań własnych	582
13.4.4.	Wielokrotne strojone tłumiki masowe (WSTM)	584
13.5.	Strojone tłumiki wahadłowe	591
13.6.	Tłumiki lepkosprężyste	594
13.7.	Przykłady zrealizowanych mechanicznych tłumików drgań	596
14.	Przykłady obliczeń dynamicznych i aerodynamicznych oraz badań modelowych mostów dla pieszych	604
14.1.	Analiza komfortu vibracyjnego jednoprzęsłowych mostów dla pieszych o konstrukcji kratownicowej w funkcji rozpiętości przęsła	604
14.1.1.	Uwagi wstępne	604
14.1.2.	Opis techniczny i modele obliczeniowe analizowanych mostów	605
14.1.3.	Charakterystyki dynamiczne przedmiotowych mostów dla pieszych	607
14.1.4.	Wybrane wyniki odpowiedzi dynamicznych badanych konstrukcji wywołanych oddziaływaniem ludzi	609
14.1.5.	Sprawdzenie kryteriów komfortu	610
14.1.6.	Wnioski dla praktyki inżynierskiej	611
14.2.	Analiza drgań mostu dla pieszych nad Drogową Trasą Średnicową w Katowicach, spowodowanych przez ludzi w różnych warunkach ich aktywności	612
14.2.1.	Wstęp	612
14.2.2.	Krótki opis techniczny i przyjęty model obliczeniowy mostu	613
14.2.3.	Charakterystyki dynamiczne mostu	614
14.2.4.	Drgania mostu spowodowane przez ludzi	614
14.2.5.	Ocena skuteczności działania mechanicznego tłumika drgań	619
14.2.6.	Wnioski	622
14.3.	Ocena skuteczności działania wielokrotnych strojonych tłumików masowych zainstalowanych na różnych mostach dla pieszych	623
14.3.1.	Wstęp	623
14.3.2.	Projektowany most dla pieszych w Katowicach	626
14.3.3.	Most dla pieszych o konstrukcji kratownicowej i długości przęsła 50 m	637
14.3.4.	Wnioski końcowe	644
14.4.	Badania modelowe i obliczenia aerodynamiczne projektowanego mostu dla pieszych w Katowicach	645
14.4.1.	Wstęp	645
14.4.2.	Badania aerodynamiczne modelu sekcyjnego mostu w tunelu aerodynamicznym	646
14.4.3.	Obliczenia aerodynamiczne	648
14.4.4.	Badania modelowe modelu aeroelastycznego mostu w tunelu aerodynamicznym	654
14.5.	Analiza podatności aerodynamicznej różnych mostów dla pieszych	661
14.5.1.	Wstęp	661
14.5.2.	Opis konstrukcji analizowanych mostów dla pieszych	663
14.5.3.	Charakterystyki dynamiczne analizowanych mostów	665
14.5.4.	Wyniki obliczeń aerodynamicznych	666
14.5.5.	Wnioski	670
14.6.	Analiza wpływu sprzężeń aerodynamicznych na odpowiedź dynamiczną dwóch wiszących mostów dla pieszych	672

14.6.1.	Wprowadzenie	672
14.6.2.	Wyniki analiz	673
14.6.3.	Wnioski	674
14.7.	Badania modelowe i obliczenia aerodynamiczne mostu pieszo-rowerowego Kazimierz–Podgórze przez Wisłę w Krakowie	676
14.7.1.	Wstęp	676
14.7.2.	Krótki opis techniczny mostu	676
14.7.3.	Stanowisko pomiarowe, czujniki pomiarowe, aparatura pomiarowa, tory pomiarowe	679
14.7.4.	Opis modeli do badań aerodynamicznych	683
14.7.5.	Współczynniki aerodynamiczne segmentów przęsła nawietrznego i zawietrznego	686
14.7.6.	Współczynniki aerodynamiczne globalnego, sumarycznego oddziaływania wiatru na most	689
14.7.7.	Model MES mostu	690
14.7.8.	Analiza modalna	693
14.7.9.	Modelowanie oddziaływania wiatru	694
14.7.10.	Obliczenia aerodynamiczne mostu	698
14.7.11.	Analiza wzbudzenia wirowego	700
14.7.12.	Komfort pieszych	701
14.8.	Badania modelowe i obliczenia aerodynamiczne mostu pieszo-rowerowego Kazimierz–Ludwinów przez rzekę Wisłę w Krakowie	706
14.8.1.	Wstęp	706
14.8.2.	Opis konstrukcji mostu	706
14.8.3.	Modele do badań	711
14.8.4.	Procedura badawcza	712
14.8.5.	Wyniki pomiarów	713
14.8.6.	Model MES konstrukcji	717
14.8.7.	Analiza modalna	718
14.8.8.	Modelowanie oddziaływania wiatru	722
14.8.9.	Obliczenia aerodynamiczne mostu	726
14.8.10.	Wnioski	727
Literatura		729