

Spis treści

Przedmowa	13
1. Przedmiot i zakres mechaniki ciał stałych i płynów.	15
1.1. Formy materii przyjmowane w zagadnieniach mechaniki	15
1.2. Przykłady klasyfikacji ośrodków materialnych w mechanice.	16
1.3. Zasadnicze działy mechaniki	17
1.4. Podział mechaniki z uwagi na różne zakresy tematyczne	18
1.5. Modele fizyczne ogólne rzeczywistych układów (ośrodków) materialnych	19
1.6. Modele fizyczne szczegółowe rzeczywistych układów (ośrodków) materialnych	20
1.7. Mechanika jako nauka dedukcyjna - modele matematyczne zjawisk mechanicznych	21
1.8. Rodzaje badań w mechanice.	22
1.9. Problemy związane z modelowaniem fizycznym i matematycznym zjawisk mechanicznych.	23
1.10. Zakres monografii	24
2. Prawa Newtona.	26
3. Punkt materialny (cząstka materialna, masa skupiona, układ o jednym stopniu swobody).	29
3.1. Kinematyka	29
3.1.1. Transformacja układu współrzędnych	29
3.1.2. Wektor nieskończenie małego obrotu chwilowego i wektor prędkości kątowej	32
3.1.3. Ruch bezwzględny (w układzie inercjalnym).	34
3.1.4. Ruch względny.	40
3.2. Dynamika	43
3.2.1. Równania ruchu w różnych układach współrzędnych.	43
3.2.2. Zasada d'Alemberta dla punktu materialnego.	45
3.2.3. Ruchy aperiodyczne związane z siłami oporu ośrodka płynnego, w którym porusza się cząstka materialna	46

3.2.4.	Ruchy drgające układów liniowych o jednym stopniu swobody	49
3.2.5.	Proste przypadki drgań samolotu wokół jego średniego toru poziomego.	59
4.	Grupa cząstek materialnych, układ punktów materialnych.	65
4.1.	Uwagi wstępne.	65
4.2.	Więzy.	68
4.3.	Równania konstytutywne więzów - modele mechaniczne lub / i fizyczne więzów.	72
4.3.1.	Opis i oznaczenie wielkości występujących w równaniach konstytutywnych więzów.	72
4.3.2.	Modele więzów kinematycznych	74
4.3.3.	Modele więzów kinetycznych/dynamicznych	75
4.3.4.	Modele więzów fizycznych	80
4.3.5.	Modele więzów mieszanych	81
4.3.6.	Potencjał i energia potencjalna więzów sprężystych	82
4.4.	Współrzędne uogólnione i stopnie swobody układu materialnego	83
4.5.	Podstawowe pojęcia, zasady i twierdzenia dynamiki (kinetyki) układu punktów materialnych	84
4.5.1.	Środek masy.	84
4.5.2.	Ruch środka masy - uśredniony ogólny translacyjny ruch układu	85
4.5.3.	Zasada pędu	86
4.5.4.	Zasada krętu/momentu pędu - uśredniony/ogólny ruch rotacyjny układu	87
4.5.5.	Zasada energii kinetycznej	88
4.5.6.	Praca sił zewnętrznych	90
4.5.7.	Praca sił wewnętrznych	90
4.5.8.	Praca reakcji podpór	91
4.5.9.	Zasada zachowania energii mechanicznej	92
4.5.10.	Zasada d'Alemberta dla /-tego punktu materialnego	92
4.5.11.	Przemieszczenia rzeczywiste, możliwe i wirtualne. Praca wirtualna	92
4.5.12.	Zasada prac wirtualnych (d'Alemberta) dla układu n punktów materialnych	94
4.5.13.	Siły uogólnione i przemieszczenia uogólnione	95
4.5.14.	Warunki równowagi statycznej (równania statyki) i warunki równowagi dynamicznej/kinetycznej (równania dynamiki/kinetyki)	98
4.5.15.	Równania Lagrange'a II rodzaju	99
4.5.16.	Zasada Hamiltona dla więzów dynamicznych	105
4.5.17.	Siły rzeczywiste, możliwe i wirtualne	106
4.5.18.	Różne postaci zasady prac wirtualnych	107
4.5.19.	Analogia kineto-statyczna	108
4.6.	Twierdzenia o wzajemności w statyce układu punktów materialnych dla więzów statycznych liniowo-sprężystych lub/i sztywnych i więzów poza-statycznych	109
4.6.1.	Twierdzenie o wzajemności prac wirtualnych przy wirtualnym stanie sił uogólnionych i wirtualnym stanie przemieszczeń uogólnionych	109

4.6.2.	Twierdzenie o wzajemności prac wirtualnych przy rzeczywistym stanie sił uogólnionych i rzeczywistym stanie przemieszczeń uogólnionych	110
4.6.3.	Twierdzenia o wzajemności przemieszczeń	111
4.6.4.	Twierdzenie o wzajemności reakcji	112
4.6.5.	Twierdzenie o wzajemności sił wewnętrznych	114
4.6.6.	Twierdzenie o wzajemności przemieszczeń i reakcji	114
4.6.7.	Twierdzenie o wzajemności przemieszczeń i sił wewnętrznych	114
4.6.8.	Wzór do obliczania przemieszczeń w układach z więzami statycznymi liniowo-sprężystymi lub/i sztywnymi i więzami pozastatycznymi	115
5.	Bryła sztywna	117
5.1.	Kinematyka	117
5.1.1.	Uwagi wstępne	117
5.1.2.	Przypadki szczególne ruchu w układzie inercjalnym	119
5.1.3.	Ruch ogólny w układzie inercjalnym	121
5.1.4.	Ruchy względne w różnych układach ruchomych	122
5.2.	Dynamika	127
5.2.1.	Charakterystyki bezwładnościowe	127
5.2.2.	Różne przypadki równań ruchu (dynamiki)	133
5.3.	Przykłady zastosowań	138
5.3.1.	Samolot przy ustalonym ruchu wznoszącym się skreślonym w prawo	138
5.3.2.	Drgania bloku fundamentowego na podłożu sprężystym	143
5.3.3.	Drgania płaskie bryły sztywnej poruszającej się po nierównym torze	156
6.	Stałe i płynne ciągłe ośrodki materialne	160
6.1.	Metody opisu ruchu	160
6.2.	Deformacje i odkształcenia	164
6.2.1.	Wprowadzenie	164
6.2.2.	Zależności różniczkowe między odkształceniami i przemieszczeniami w przypadku małych przemieszczeń i małych dystorsji	164
6.2.3.	Odkształcenia skończone	167
6.2.4.	Tensory prędkości odkształcenia i prędkości obrotu	169
6.3.	Siły masowe, powierzchniowe i naprężenia w opisie przestrzennym	171
6.4.	Analiza stanu naprężenia w opisie przestrzennym	174
6.5.	Prawa zachowania masy, pędu i krętu oraz wynikające z nich równania ciągłości i ruchu	179
6.5.1.	Twierdzenie Greena-Gaussa-Ostrogradzkiego	179
6.5.2.	Pochodna materialna całki objętościowej	180
6.5.3.	Równania ciągłości wynikające z zasady zachowania masy	181
6.5.4.	Równania ruchu wynikające z zasady pędu i krętu	182
6.5.5.	Siła wypadkowa działająca na masę płynu poruszającą się ruchem ustalonym, wynikająca z zasady pędu	184
6.5.6.	Linearyzacja równań ruchu	185
6.6.	Podstawy termodynamiczne termomechaniki ciągłych ośrodków materialnych	185

6.6.1.	Pojęcia podstawowe i prawa termodynamiki	185
6.6.2.	Równanie energii dla ciągłych ośrodków materialnych.	188
7.	Ciągłe ośrodki sprężyste.	194
7.1.	Uwagi wstępne.	194
7.2.	Różne postaci prawa Hooke'a	198
7.3.	Kompletny układ równań liniowej elastostatyki w zapisie klasycznym i wskaźnikowym	202
7.3.1.	Warunki brzegowe.	202
7.3.2.	Równania liniowej elastostatyki w zapisie klasycznym (nieskróconym).	203
7.3.3.	Równania liniowej elastostatyki w zapisie sumacyjnym	204
7.3.4.	Reakcje więzów zewnętrznych	205
7.3.5.	Ograniczenia	206
7.3.6.	Różne postaci równań przemieszczeniowych elastostatyki	207
7.3.7.	Równania Beltramiego-Michella	209
7.4.	Kompletny układ równań liniowej elastokinetyki	211
7.5.	Orientacyjne wartości statycznych i dynamicznych modułów sprężystości oraz współczynnika Poissona	212
7.6.	Równania falowe w liniowej elastokinetyce i najprostsze przypadki tych fal	216
7.7.	Rzeczywiste fale powierzchniowe występujące w ośrodkach gruntowych i w basenach wodnych	225
7.8.	Różne postaci zasady prac wirtualnych oraz wynikające z nich inne twierdzenia i zasady.	228
7.8.1.	Zasada prac wirtualnych elastokinetyki przy rzeczywistym stanie uogólnionych sił i wirtualnym stanie uogólnionych przemieszczeń.	228
7.8.2.	Zasada Hamiltona	229
7.8.3.	Twierdzenia o wzajemności w elastostatyce.	230
8.	Sprężystość i termodynamika	237
8.1.	Równanie energii dla ciała sprężystego przy adiabatycznym, quasi - statycznym procesie termodynamicznym.	237
8.1.1.	Podstawowe założenia i zależności.	237
8.1.2.	Energia sprężysta dla ciała Hooke'a [8.5].	239
8.2.	Geometrycznie liniowa teoria termosprężystości	241
8.2.1.	Podstawowe założenia i zależności.	241
8.2.2.	Rozszerzone równanie przewodnictwa cieplnego.	247
8.2.3.	Równania sprzężone i niesprężone termosprężystości.	249
8.2.4.	Równania przemieszczeniowe klasycznej elastostatyki i elastokinetyki [8.4].	250
8.2.5.	Inne sformułowanie równania energii - równanie bilansu energii cieplnej	252
9.	Akustyka	255
9.1.	Kompletny układ równań drgań i fal akustycznych.	255
9.1.1.	Założenia wyjściowe i podstawowe równania elastokinetyki	255
9.1.2.	Równania przemieszczeniowe, prędkościowe i ciśnieniowe akustyki	257

9.1.3.	Potencjał akustyczny.	259
9.1.4.	Przypadki szczególne fal w polu swobodnym (przestrzeni otwartej, polu bliskim źródła).	260
9.1.5.	Wartości podstawowych współczynników i wielkości akustycznych i mechanicznych ośrodków płynnych i stałych.	263
9.1.6.	Warunki brzegowe i początkowe.	263
9.2.	Podstawowe wielkości, zjawiska i zależności występujące w zagadnie- niach akustyki stosowanej.	267
9.2.1.	Krótką charakterystyka rzeczywistych fal dźwiękowych	267
9.2.2.	Energia fal akustycznych.	269
9.2.3.	Natężenie dźwięku i moc źródła dźwięku.	269
9.2.4.	Proste przypadki interferencji fal płaskich.	275
9.2.5.	Zasady propagacji dźwięku w najprostszych przypadkach kontaktowych ośrodka płynnego (powietrza) z ośrodkiem stałym.	282
9.3.	Charakterystyki czasowe i częstotliwościowe procesów akustycznych uży- wane w akustyce stosowanej na przykładzie pola ciśnienia akustycznego	292
9.3.1.	Wprowadzenie.	292
9.3.2.	Charakterystyki czasowe ciśnienia akustycznego.	300
9.3.3.	Charakterystyki częstotliwościowe ciśnienia akustycznego	303
9.4.	Podstawowe charakterystyki akustyczne pomieszczeń	308
9.5.	Relacje między poziomami natężenia dźwięku i mocy źródła dźwięku dla wybranych przypadków pól akustycznych.	315
9.5.1.	Źródło dźwięku (hałasu) generujące falę płaską propagującą się w sztywnym (wytłumionym) kanale.	315
9.5.2.	Źródło punktowe wszechkierunkowe w przestrzeni otwartej (jpołu bezpośrednim).	316
9.5.3.	Źródło punktowe kierunkowe o współczynniku kierunkowości K generujące falę quasi-kulistą w kąt bryłowy Q	317
9.5.4.	Zastępcze źródło płaskie dla hałasu przenikającego przez powierzchnię S	318
9.5.5.	Źródło wszechkierunkowe w przestrzeni zamkniętej (w polu pogłosowym).	318
9.5.6.	Inne przypadki pól akustycznych spotykane w akustyce stosowanej.	322
10.	Właściwości fizyko-mechaniczne płynów.	324
10.1.	Gęstość.	324
10.2.	Temperatura	324
10.3.	Ciśnienie.	325
10.4.	Płyny ściśliwe i nieściśliwe.	326
10.5.	Ściśliwość.	327
10.6.	Właściwości cieplne płynów.	328
10.6.1.	Ciepło właściwe.	328
10.6.2.	Stosunek ciepł właściwych α	329
10.6.3.	Stała gazowa R	329
10.7.	Równania stanu dla gazów.	330
10.7.1.	Gazy doskonałe.	330
10.7.2.	Gazy rzeczywiste.	334

10.8. Odształcalność objętościowa cieczy.	336
10.9. Lepkość - płyn doskonały, płyny newtonowskie, płyny nienewtonowskie.	337
10.10. Właściwości dyssypatywne płynów.	343
10.11. Napięcie powierzchniowe cieczy i efekty z nim związane.	345
10.11.1. Powierzchnia swobodna cieczy.	345
10.11.2. Kształt powierzchni swobodnej w pobliżu ściany lub płytki	347
10.11.3. Kształt swobodnej powierzchni cieczy w pobliżu ściany lub płytki	348
10.11.3. Efekt kapilarny - włoskowatość.	350
10.12. Ciśnienie pary i ciśnienie wrzenia cieczy.	351
10.13. Skład i budowa atmosfery ziemskiej oraz podstawowe właściwości powietrza atmosferycznego [10.3].	352
10.14. Tablice mechanicznych i fizycznych właściwości płynów.	355
11. Statyka płynów.	360
11.1. Wprowadzenie.	360
11.2. Równowaga bezwzględna płynu.	362
11.2.1. Równowaga w potencjalnym polu sił masowych.	362
11.2.2. Równowaga podczas braku sił masowych.	363
11.2.3. Równowaga w polu sił ciężkości.	363
11.2.4. Naczynia połączone, piezometr, barometr i manometr.	366
11.2.5. Parcie/napór cieczy na powierzchnie ścian.	370
11.2.6. Wypór hydrostatyczny cieczy działający na ciała stałe częściowo lub całkowicie w niej zanurzone.	374
11.3. Równowaga względna cieczy.	378
11.3.1. Ruch postępowy/translacyjny.	379
11.3.2. Ruch obrotowy (rotacyjny).	380
12. Kinetyka płynów nielepkich.	382
12.1. Kompletny układ równań kinetyki płynów nielepkich i nieprzewodzących ciepła.	382
12.2. Równanie Bernoulliego.	385
12.2.1. Równanie ruchu w formie Gromeki-Lamba.	385
12.2.2. Równanie Bernoulliego.	386
12.3. Wybrane zastosowania techniczne równania Bernoulliego.	388
12.3.1. Wpływ cieczy ze zbiornika.	388
12.3.2. Czas opróżniania zbiornika z cieczą.	390
12.3.3. Wypływ gazu doskonałego ze zbiornika przez mały otwór.	390
12.3.4. Zastosowanie równania Bernoulliego do pomiarów ciśnień i prędkości przepływu.	391
12.4. Przepływ względny w układzie wirującym.	393
13. Wykorzystanie zasady pędu w postaci całkowitej do wyznaczania wynikowych oddziaływań kinetycznych płynów na kontaktujące się z nimi ciała stałe lub ich fragmenty.	395
13.1. Strumień pędu i reakcja płynu przy jego ruchu ustalonym.	395
13.2. Reakcja strumienia wypływającego ze zbiornika.	398
13.3. Napęd odrzutowy.	399

13.3.1. Rakieta	399
13.3.2. Silnik odrzutowy.	400
13.3.3. Uwzględnienie zmiany masy układu w czasie.	401
13.4. Siła oporu aero/hydrodynamicznego konstrukcji smukłej ustawionej normalnie do przepływu płynu	404
13.4.1. Podstawowe założenia i zależności	404
14. Kompletny układ równań kinetyki ustalonej strugi płynu i przykłady ich zastosowań w praktyce.	410
14.1. Inne sformułowanie równania energii łączące zasady mechaniki i termodynamiki	410
14.2. Uśrednione równanie energii dla ustalonej jednowymiarowej strugi płynu	413
14.3. Przepływ cieczy przewodami zamkniętymi.	415
14.3.1. Współczynnik strat tarcia λ	418
14.3.2. Współczynnik strat miejscowych ξ	422
14.4. Teoria Froude'a dla siły ciągu śmigła samolotu lub śruby napędowej statku	427
14.5. Teoria strumieniowa wirników wiatrowych śmigłowych (szybkobieżnych) o poziomej osi obrotu	432
14.6. Kinetyka/dynamika gazów przy dużych i bardzo dużych prędkościach	438
14.7. Równanie Bernoulliego jako całka równania ruchu Eulera wzdłuż ustalonej linii prądu	446
14.8. Szybki i bardzo szybki adiabatyczny przepływ gazu idealnego, doskonałego przez przewężenie/dyszę	449
15. Wybrane zagadnienia analizy wymiarowej i teorii podobieństwa zjawisk mechanicznych.	453
15.1. Uwagi wstępne.	453
15.2. Twierdzenie 77 (lub Buckingham) analizy wymiarowej.	454
15.3. Zjawisko mechaniczne opisane uogólnionymi zależnościami funkcyjnymi typu potęgowego.	455
15.3.1. Uogólniona zależność jednomianowa	455
15.3.2. Uogólniona zależność wielomianowa z przesunięciami.	462
15.4. Działanie statyczne (średnie) wiatru	463
15.4.1. Obiekt smukłyjedenoprzesłowy.	463
15.4.2. Obiekt smukły wspornikowy.	467
15.5. Drgania aeroelastyczne mostu podwieszonego lub wiszącego.	469
15.6. Podobieństwo dynamiczne przepływów.	471
15.7. Odpowiedź budowli wieżowej.	474
15.8. Skale podobieństwa dynamicznego przepływów w aerodynamice budowli i problemy ich spełnienia.	477
16. Termomechanika stosowana w budownictwie.	483
16.1. Deformacje i odkształcenia termiczne/cieplne.	483
16.2. Podstawowe informacje o wymianie ciepła.	485
16.3. Przewodzenie ciepła w ciałach stałych.	487
16.4. Przejmowanie ciepła przez płyny (powietrze) w pobliżu powierzchni kontaktu płynu z ciałem stałym - mieszana wymiana ciepła przez konwekcję i przewodzenie.	492
16.5. Wymiana ciepła przez promieniowanie.	494

16.6. Złożona wymiana ciepła	506
16.6.1. Przypadek ogólny.	506
16.6.2. Przypadki szczególne.	507
16.7. Warunki początkowy i brzegowe w zagadnieniach przenikania ciepła przez przegrody budowlane.	509
16.8. Jednoosiowe zagadnienie ustalonego przenikania ciepła przez przegrody budowlane.	511
16.8.1. Przegroda wielowarstwowa płaska	511
16.8.2. Przegroda wielowarstwowa cylindryczna	513
16.9. Naprężenia i siły przekrojowe w konstrukcjach wywołane wpływami ter- micznymi	515
16.9.1. Podstawowe zależności kinematyczno-statyczne w zagadnieniach liniowej termosprężystości	515
16.9.2. Skutki działania pola temperatury na wybrane elementy konstrukcyjne prętowe i płytowe.	517
16.9.3. Osiowo-symetryczne stany naprężeń termicznych w rurach w warunkach ustalonego przepływu ciepła.	523
16.10. Wartości wielkości występujących w zagadnieniach wymiany ciepła	527
16.10.1. Wartości współczynnika liniowej rozszerzalności cieplnej α_θ ciał stałych	527
16.10.2. Wartości oporu cieplnego R i współczynnika przenikania ciepła U wybranych przegród o budowie niejednorodnej	528
16.10.3. Wartości współczynników charakteryzujących przewodzenie ciepła	531
16.10.4. Wartości współczynników charakteryzujących warunki brzegowe wymiany ciepła.	536
16.10.5. Wzory empiryczne dla współczynnika α_k w niektórych przypadkach szczególnych mieszanej wymiany ciepła przez konwekcję i przewodzenie.	543
17. Wybrane metody dyskretyzacji ciągłych ośrodków materialnych i związane z nimi modele dyskretne ciał stałych i płynów.	558
17.1. Uwagi wstępne.	558
17.2. Dyskretyzacja fizyczna	558
17.2.1. Równania ruchu - drgania wymuszone.	558
17.3. Metoda elementów skończonych (MES).	563
17.3.1. Uwagi wstępne.	563
17.3.2. Sformułowanie wariacyjne MES dla zagadnień opisywanych przez równanie quasi-harmoniczne.	566
17.3.3. Sformułowanie MES bazujące na metodzie residuów ważonych	572
17.3.4. Sformułowanie równań MES dla problemu statycznego liniowej teorii sprężystości (LTS).	575
17.3.5. Sformułowanie równań MES dla problemu dynamicznego LTS	579
17.3.6. Sformułowanie MES w zagadnieniach dynamicznych belek i ram płaskich	582
17.4. Metoda objętości skończonych/kontrolnych	587
17.4.1. Ogólna koncepcja metody.	587
17.4.2. Przykład sformułowania MOS dla równania różniczkowego Poissona [17.10, 17.14].	591
17.4.3. Podejście wzorowane na metodzie elementów skończonych (MES)	594