

SPIS TREŚCI

Przedmowa.....	9
1. WSTĘP, NOTACJA I ZESTAWIENIE RÓWNAŃ MECHANIKI CIAŁA SPRĘŻYSTEGO....	11
1.1. Wprowadzenie	11
1.2. Układ treści	13
1.3. Zestawienie równań liniowej teorii sprężystości	14
1.4. Zastosowane oznaczenia i przyjęta notacja	22
1.5. Redukcje równań do osiowego i płaskich stanów naprężenia	23
1.5.1. Osiowy stan naprężenia	24
1.5.2. Płaski stan naprężenia	25
1.6. Wzory transformacyjne i koła Mohra w płaskim stanie naprężenia.....	30
1.6.1. Transformacja składowych płaskiego stanu naprężenia	30
1.6.2. Konstrukcja kół Mohra	33
2. PROSTE ZGINANIE JEDNORODNYCH PRĘTÓW PRYZMATYCZNYCH.....	44
2.1. Opis zagadnienia i podstawowe założenia	44
2.2. Równania równowagi wewnętrznej w siłach przekrojowych	47
2.3. Stan przemieszczenia i odkształcenia oraz związki kinematyczne	49
2.4. Stan naprężenia i związki fizyczne	52
2.5. Zależności między naprężeniami a siłami przekrojowymi.....	54
2.6. Równanie równowagi wewnętrznej belki w przemieszczeniach.....	61
2.7. Rozwiązania elementarnych zagadnień brzegowych	63
2.7.1. Belki obciążone równomiernie	63
2.7.2. Belki obciążone momentem na brzegu	67
2.7.3. Belki obciążone siłą	69
2.8. Analiza stanu naprężenia w obszarze belki	72
3. UOGÓLNIENIA W TEORII ZGINANIA PRĘTÓW	79
3.1. Belki na podłożu sprężystym.....	79
3.2. Belki o zmiennej sztywności	81
3.3. Uwzględnienie wpływu sił poprzecznych na ugięcie.....	83
3.4. Obliczanie naprężeń w belkach o przekroju nieprostokątnym	88
3.4.1. Przekroje z jedną osią symetrii	89
3.4.2. Symetryczne przekroje cienkościenne.....	93
3.4.3. Niesymetryczne przekroje cienkościenne	99
3.5. Zginanie ukośne.....	101
3.5.1. Naprężenia normalne	102
3.5.2. Deformacja pręta	105
3.5.3. Naprężenia styczne	108

3.6. Zginanie z udziałem siły podłużnej	111
3.6.1. Równanie osi obojętnej	112
3.6.2. Rdzeń przekroju	115
4. WYZNACZANIE PRZEMIESZCZENIA BELEK	121
4.1. Sformułowanie zagadnienia	121
4.2. Rozwiązania zadań z jednym przedziałem całkowania	124
4.3. Rozwiązania belek o kilku przedziałach całkowania	127
4.3.1. Sposób Clebscha do belek ciągłych bezprzegubowych	127
4.3.2. Metoda parametrów początkowych w belkach ciągłych bezprzegubowych	134
4.3.3. Wyznaczanie przemieszczenia belek ciągłych przegubowych	138
4.4. Belki na podłożu sprężystym	142
4.4.1. Wyprowadzenie ogólnego rozwiązania	142
4.4.2. Przykłady rozwiązań zagadnień brzegowych	144
4.4.3. Metoda parametrów początkowych	150
5. METODY PRZYBLIŻONE OBLICZANIA PRĘTÓW ZE WSTĘPEM DO MES	153
5.1. Zagadnienie prętów obciążonych osiowo	153
5.1.1. Sformułowanie różniczkowe zagadnienia brzegowego	154
5.1.2. Zasada pracy wirtualnej z wirtualnym przemieszczeniem	156
5.1.3. Zasada zachowania energii mechanicznej	159
5.1.4. Zasada minimum energii potencjalnej	161
5.1.5. Metoda Galerkin	165
5.1.6. Metoda Ritza	169
5.1.7. Wstęp do metody elementów skończonych	173
5.1.8. Nazewnictwo i interpretacje metody elementów skończonych	178
5.2. Pręty zginane w płaszczyźnie	182
5.2.1. Sformułowanie lokalne i energia potencjalna belki	182
5.2.2. Idea metody elementów skończonych w przypadku belki	184
5.2.3. Terminologia i interpretacje metody elementów skończonych dla belki	188
5.2.4. Przykład liczbowy zastosowania MES	193
6. ROZWIĄZANIA TECHNICZNE BELEK	202
6.1. Wprowadzenie	202
6.2. Połączenia elementów belek złożonych	203
6.2.1. Połączenia spawane	204
6.2.2. Połączenia śrubowe	206
6.3. Belki złożone	208
6.4. Belki zespolone	214
6.4.1. Stan przemieszczenia i odkształcenia – związki kinematyczne	215
6.4.2. Stan naprężenia i związki fizyczne	217
6.4.3. Podsumowanie	221
6.4.4. Przykład zastosowania	222
6.5. Belki zbrojone	224
6.5.1. Zasady obliczania	225
6.5.2. Przykłady obliczeń	230
7. NOŚNOŚĆ GRANICZNA KONSTRUKCJI PRĘTOWYCH	234
7.1. Model materiału	235
7.2. Pręt prosty obciążony osiowo	237

7.3. Pręt prosty zginany	239
7.3.1. Założenia i podstawowe zależności	240
7.3.2. Nośność przekroju z dwiema osiami symetrii	241
7.3.3. Nośność przekroju z jedną osią symetrii.....	250
7.3.4. Nośność belki.....	252
7.4. Pręt prosty skręcany.....	265
7.4.1. Nośność przekroju.....	265
7.4.2. Nośność pręta skręcanego.....	269
7.5. Zasada mocy wirtualnej i twierdzenia graniczne.....	272
7.5.1. Zasada pracy i mocy wirtualnej.....	273
7.5.2. Przeguby plastyczne i rozpraszanie w nich energii.....	274
7.5.3. Twierdzenia graniczne o szacowaniu nośności.....	277
7.6. Zastosowania twierdzeń granicznych.....	281
7.6.1. Belka obciążona siłą.....	283
7.6.2. Belka obciążona równomiernie.....	285
8. STATECZNOŚĆ PRĘTÓW ŚCISKANYCH.....	289
8.1. Wprowadzenie.....	289
8.2. Wyboczenie prętów idealnych.....	291
8.2.1. Wyznaczenie siły krytycznej prętów sprężystych.....	292
8.2.2. Wyboczenie sprężyste i niesprężyste.....	300
8.2.3. Przykłady analizy stateczności prętów.....	303
8.3. Wyboczenie z uwzględnieniem imperfekcji.....	307
8.3.1. Ściskanie pręta z imperfekcją przyłożenia siły.....	308
8.3.2. Ściskanie pręta z imperfekcją kształtu.....	310
8.3.3. Ilościowa analiza wpływu imperfekcji przy ścisaniu pręta.....	312
8.3.4. Nośność sprężysta ściskanego pręta z imperfekcją kształtu.....	316
8.3.5. Nośność przy ścisaniu w postanowieniach normowych.....	319
8.4. Przybliżone wyznaczenie siły krytycznej.....	323
8.4.1. Ekstremum energii potencjalnej i typ równowagi układu.....	323
8.4.2. Wyznaczanie siły krytycznej z kryterium energetycznego.....	325
8.4.3. Przykłady oszacowania siły krytycznej.....	329
Bibliografia	333

PRZEDMOWA

Oddajemy do rąk Czytelnika podręcznik, w którym przedstawiono wybrane zagadnienia omawiane głównie w drugim semestrze rocznego kursu z przedmiotu Wytrzymałość Materiałów na studiach stacjonarnych i niestacjonarnych pierwszego stopnia Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej. Dlatego też założono, że Czytelnik już zna niektóre elementy z kursu Wytrzymałości Materiałów wykładane w semestrze pierwszym, takie jak wyznaczanie sił przekrojowych w prostych układach prętowych oraz obliczanie charakterystyk geometrycznych figur płaskich. Założono również, że Czytelnik zna podstawowe równania mechaniki ciała sprężystego w zagadnieniu przestrzennym, które tytułem wprowadzenia zestawiono w rozdziale pierwszym. Następnie sprowadzono je do zagadnień jednowymiarowego i dwuwymiarowego, z omówieniem niektórych cech stanu naprężenia lub odkształcenia, wykorzystywanych w dalszej części podręcznika.

Przygotowany materiał w głównej mierze został pomyślany jako pomoc dydaktyczna dla wszystkich słuchaczy wyżej wymienionego kursu, ale może z powodzeniem służyć studentom innych wyższych uczelni technicznych kształcącym się na kierunku budownictwo, pracownikom naukowym, a także inżynierom projektantom. W książce poruszono szereg zagadnień praktycznych związanych z projektowaniem, co stanowi dobry punkt wyjścia do wykładów z przedmiotów traktujących szczegółowo o konstrukcjach metalowych, drewnianych, żelbetonowych czy zespolonych. Ukierunkowanie na zagadnienia związane z budownictwem nie przekreśla ogólności podręcznika, który może być wykorzystywany także na innych kierunkach studiów.

W podręczniku szczegółowo omówiono zagadnienia prętów zginanych i obciążonych osiowo oraz wybrane przypadki prętów skręcanych. Wyprowadzono i omówiono podstawowe sformułowania zagadnień brzegowych różnych teorii prętów oraz metody ich badania i rozwiązywania. Zamieszczono liczne przykłady rozwiązań zadań z podaniem wyników w formie graficznej oraz ich interpretacją i odniesieniami do potencjalnych zastosowań w budownictwie. Przedstawiono też wstęp do metody elementów skończonych w zastosowaniu do prętów obciążonych osiowo i zginanych. Zagadnienia przeanalizowano zarówno w zakresie sprężystym, jak i sprężysto-plastycznym, wprowadzając podstawy teorii nośności

granicznej. Omówiono zjawisko wyboczenia w kontekście obowiązujących rozwiązań normowych.

Książka jest podzielona na osiem rozdziałów. Materiał zawarty w rozdziałach od pierwszego do szóstego dotyczy zagadnień sprężystych, które pozwalają na wyznaczenie przemieszczenia (sztywności) elementów konstrukcyjnych i, w konsekwencji, na ich zastosowanie w wymiarowaniu elementów na stan graniczny użytkowania. Natomiast treści przedstawione w rozdziałach siódmym i ósmym oraz częściowo szóstym dotyczą wyznaczenia nośności elementów konstrukcyjnych, osiąganey przez wyczerpanie wytrzymałości materiału lub utratę stateczności prętów, dającej podstawy do wymiarowania na stan graniczny nośności.

Autorzy składają serdeczne podziękowania mgr inż. Inez Kamińskiej za przeczytanie i korektę obszernych fragmentów podręcznika.

Cezary Ajdukiewicz, Aleksander Szwed