

Spis treści

| | |
|--|-----|
| Wstęp | 5 |
| I. Metoda przemieszczeń w ujęciu klasycznym – płaskie układy ramowe | 7 |
| 1. Siły wewnętrzne i przemieszczenia w płaskich układach ramowych..... | 7 |
| 1.1. Wprowadzenie do metody | 7 |
| 1.2. Rozwiązywanie układów płaskich klasyczną metodą przemieszczeń..... | 9 |
| 1.2.1. Etapy analizy statycznej..... | 9 |
| 1.2.2. Zależności sił węzłowych od przemieszczeń węzłów (wzory transformacyjne) | 11 |
| 1.2.2.1. Pręt obustronnie zamocowany | 12 |
| 1.2.2.2. Pręt zamocowanie-przegub (Rys. 1.2.7) | 14 |
| 1.2.2.3. Pręt zamocowanie – teleskop (Rys. 1.2.8)..... | 15 |
| 1.2.3. Wyjściowe siły węzłowe..... | 15 |
| 1.3. Ramy obciążone siłami czynnymi | 19 |
| 1.3.1. Ramy o siatce ortogonalnej..... | 19 |
| 1.3.2. Ramy o dowolnej siatce prętów | 38 |
| 1.4. Obciążenia kinematyczne i termiczne | 61 |
| 1.4.1. Obciążenia kinematyczne (błędy montażowe)..... | 61 |
| 1.4.2. Obciążenia termiczne | 76 |
| 1.5. Układy na podporach sprężystych | 103 |
| 2. Stateczność płaskich układów ramowych | 133 |
| 2.1. Zasady ogólne..... | 133 |
| 2.2. Układy nieprzesuwne..... | 144 |
| 2.3. Układy przesuwne..... | 151 |
| II Metoda elementów skończonych dla układów prętowych | 173 |
| 1. Wprowadzenie do metody..... | 173 |
| 2. Płaskie układy prętowe..... | 177 |
| 2.1. Macierze sztywności elementów prętowych | 177 |
| 2.2. Transformacja układu współrzędnych | 185 |
| 2.4. Przebieg obliczeń MES na przykładzie kratownicy 2D..... | 190 |
| 2.5. Przykłady zastosowań programów komputerowych do obliczeń układów płaskich..... | 197 |
| 2.5.1. Estakada | 197 |
| 2.5.2. Rama poprzeczna hali jednonawowej o budowie symetrycznej..... | 204 |
| 2.5.3. Dźwigary krzywoliniowe | 213 |

| | |
|---|-----|
| 3. Układy płaskie obciążone przestrzennie..... | 223 |
| 3.1. Macierz sztywności | 224 |
| 3.2. Ruszty o węzłach przegubowych i sztywnych | 226 |
| 4. Układy przestrzenne..... | 245 |
| 4.1. Macierz sztywności | 245 |
| 4.2. Przykład układu przestrzennego | 248 |
| 5. Stateczność | 254 |
| 5.1. Macierz sztywności..... | 254 |
| 5.2. Przykłady obliczeń siły krytycznej dla ram płaskich..... | 257 |
| 5.2.1. Porównanie wartości siły krytycznej obliczonej analitycznie i z wykorzystaniem programu "Robot" | 257 |
| 5.2.2. Określenie wartości siły krytycznej i długości wyboczeniowej słupa skrajnego estakady. | 262 |
| 5.2.3. Siły krytyczne i długości wyboczeniowe słupa ramy przestrzennej..... | 267 |
| Literatura..... | 272 |

Wstęp

Zamiarem autorów podręcznika było przedstawienie jednej z dwóch metod rozwiązywania prętowych układów statycznie niewyznaczalnych, metody przemieszczeń, w dwóch wersjach, wersji klasycznej i wersji metody elementów skończonych dla układów prętowych. Zagadnienia poruszane w książce obejmują analizę statyczną i analizę liniowej stateczności płaskich i przestrzennych układów prętowych. Każda z przedstawionych wersji zawiera rozważania teoretyczne jak i przykłady obliczeń.

W części I *Metoda przemieszczeń w ujęciu klasycznym* przedstawiono analizę płaskich układów ramowych. W rozdziale 1 analizę statyczną układów obciążonych siłami czynnymi, obciążeniem termicznym i kinematycznym. W rozdziale tym omówiono również wpływ występowania podpór sprężystych na rozwiązywanie układów ramowych. Rozdział zawiera przykłady zastosowania metody przemieszczeń w rozwiązywaniu układów ramowych oraz zadania do samodzielnego rozwiązania wraz z końcowymi wynikami. W rozdziale 2 omówiono zagadnienia stateczności liniowej płaskich układów ramowych. W części teoretycznej wyprowadzono wzory transformacyjne i omówiono warunek utraty stateczności dla układów prętowych. Podano przykłady obliczenia sił krytycznych dla układów nieprzesuwnych i przesuwnych, zwracając uwagę na poszukiwanie postaci utraty stateczności. Pokazano możliwość wykorzystania programu Mathcad do znajdowania wartości własnych wyznacznika. Rozdział kończy się zadaniami do samodzielnego rozwiązania z podaniem odpowiedzi.

Część II *Metoda elementów skończonych dla układów prętowych*. W części II pokazano zastosowanie metody elementów skończonych w rozwiązywaniu zagadnień statyki i stateczności układów prętowych. Omówiono zasadę dyskretyzacji i budowania modelu numerycznego. Każdy z rozdziałów kończy się przykładami obliczeń układów ramowych z wykorzystaniem programów: ArCADia-Rama 3D firmy InterSoft lub programu Robot firmy AutoDesk. W rozdziale 2 omówiono obliczenia płaskich układów prętowych. Wyprowadzono macierze sztywności elementów, pokazano transformację układów współrzędnych i tworzenie globalnego układu równań równowagi MES. Zilustrowano przebieg obliczeń MES na przykładzie prostej kratownicy. Rozdział kończy się przykładami obliczeń statycznych ram płaskich. W rozdziale 3 przedstawiono obliczenia dla układów płaskich obciążonych przestrzennie. Rozdział zamykają przykłady rusztów przegubowych i o węzłach sztywnych, oraz przykłady płaskich dźwigarów zakrzywionych. Rozdział 4 dotyczy obliczania układów przestrzennych. Przedstawiono

w nim macierz sztywności i zasadę transformacji układów współrzędnych dla ram przestrzennych. Rozdział 5 jest poświęcony analizie stateczności liniowej. Przedstawiono dokładną i przybliżoną macierz sztywności elementu dla teorii II rzędu. Podano przykłady obliczeń sił krytycznych i długości wyboczeniowych prętów ram dla płaskich i przestrzennych układów prętowych.