

SPIS TREŚCI

Przedmowa	5
1. ANALIZA STATECZNOŚCI KONSTRUKCJI	7
1.1. Podstawy z zakresu stateczności konstrukcji	7
1.1.1. Problem utraty stateczności cienkiego pręta sprężystego poddanego ścisłaniu – problem L. Eulera	8
1.1.2. Zmiana energii pręta wygiętego	11
1.1.3. Kryterium energetyczne utraty stateczności	12
1.2. Problem stateczności konstrukcji prętowych i metoda elementów skończonych	14
1.2.1. Macierz sztywności i geometryczna macierz sztywności prętowego elementu skończonego poddanego rozciąganiu–ścisłaniu oraz zginaniu	14
1.2.2. Macierz sztywności prętowego elementu skończonego pracującego na rozciąganie–ścisłanie	18
1.2.3. Macierz sztywności i geometryczna macierz sztywności elementu skończonego pręta ramy pracującego na zginanie, ścinanie i rozciąganie–ścisłanie	19
1.2.4. Warunek utraty stateczności elementu skończonego pręta	20
1.2.5. Algorytm metody elementów skończonych do obliczania stateczności konstrukcji prętowej płaskiej	21
1.2.5.1. Dyskretyzacja matematycznego formułowania problemu	21
1.2.5.2. Uwzględnienie nachylenia prętowych elementów skończonych w modelu obliczeniowym	22
1.2.5.3. Zapisanie wyrażenia na energię odkształcenia zespołu elementów skończonych w ujednoczonym układzie współrzędnych	23
1.2.5.4. Sprowadzenie analizy stateczności konstrukcji do rozwiązywania uogólnionego problemu wartości własnej	24
2. EFEKTY DYNAMICZNE W OBLICZENIACH KONSTRUKCJI	27
2.1. Drgania wymuszone konstrukcji	27
2.1.1. Zapisanie równania ruchu konstrukcji na podstawie zasady d'Alemberta	27
2.1.2. Zapisanie równania ruchu konstrukcji na podstawie zasady Hamiltona	28
2.1.3. Równanie ruchu konstrukcji w algorytmie metody elementów skończonych	29
2.1.3.1. Macierz mas prętowego elementu skończonego	29
2.1.3.2. Macierz tłumienia prętowego elementu skończonego	32
2.1.3.3. Sformułowanie równania ruchu modelu obliczeniowego MES	33
2.1.4. Numeryczne rozwiązanie układu równań równowagi modelu obliczeniowego w ruchu	35
2.1.4.1. Jawny schemat rozwiązania równania ruchu. Metoda różnic centralnych	35
2.1.4.2. Niejawny schemat rozwiązania równania ruchu. Metoda Newmarka	37
2.2. Drgania swobodne konstrukcji	39
2.2.1. Opis problemu drgań swobodnych	39
2.2.2. Drgania wymuszone i rezonans	42
2.2.3. Wyznaczanie parametrów drgań własnych konstrukcji metodą elementów skończonych	46
3. NUMERYCZNA ANALIZA STATECZNOŚCI SŁUPA PROSTOLINIOWEGO	48
3.1. Ogólny algorytm metody elementów skończonych	48
3.2. Obliczenia w programie Mathcad	53
3.3. Obliczenia w programie SIMULIA Abaqus	61
3.3.1. Definiowanie parametrów geometrycznych słupa	61
3.3.2. Definiowanie materiału elementów ramy	63

3.3.3. Definiowanie przekroju poprzecznego słupa	63
3.3.4. Przypisywanie przekrojów i orientacji układów	65
3.3.5. Montaż modelu słupa i definiowanie warunków brzegowych	65
3.3.6. Siatkowanie modelu	66
3.3.7. Definicja kroków obliczeniowych i obciążeń	66
3.3.8. Definicja zadania obliczeniowego i uruchomienie obliczeń	68
3.3.9. Przegląd wyników obliczeń	68
4. PRZYKŁADY W PROGRAMIE SIMULIA ABAQUS	71
4.1. Stateczność ramy przestrzennej	71
4.1.1. Definiowanie parametrów geometrycznych ramy	72
4.1.2. Definiowanie właściwości materiału	76
4.1.3. Definiowanie geometrii przekroju poprzecznego pręta	76
4.1.4. Przypisanie przekroju i orientacji układu współrzędnych elementu prętowego	77
4.1.5. Tworzenie instancji części	80
4.1.6. Definiowanie warunków brzegowych	80
4.1.7. Siatkowanie modelu	81
4.1.8. Definiowanie kroku obliczeniowego i obciążenia	81
4.1.9. Definiowanie zadania obliczeniowego	83
4.1.10. Przegląd wyników obliczeń	83
4.2. Drgania wymuszone belki stalowej	84
4.2.1. Definiowanie parametrów geometrycznych belki	85
4.2.2. Definiowanie materiału elementów belki	86
4.2.3. Definiowanie przekroju poprzecznego belki	86
4.2.4. Przypisywanie przekrojów i orientacji układów	86
4.2.5. Montaż modelu belki i definiowanie warunków brzegowych	87
4.2.6. Siatkowanie modelu	87
4.2.7. Definicja kroków obliczeniowych i obciążeń, wybór rezultatów obliczeń	87
4.2.8. Definicja zadania obliczeniowego i uruchomienie obliczeń	93
4.2.9. Przegląd wyników obliczeń	93
4.3. Drgania tłumione belki stalowej	97
4.3.1. Definiowanie modelu MES belki – faza początkowa	97
4.3.2. Kroki obliczeniowe, obciążenia i wybór rezultatów obliczeń	99
4.3.3. Obliczenia i przegląd wyników	101
Literatura	103