

Spis treści

Przedmowa	9
1. Informatyzacja budownictwa	13
1.1. Projektowanie 3D	13
1.2. Integracja oprogramowania	15
1.3. Idea BIM	16
1.4. Definicje BIM	18
1.5. Standardy wymiany danych	19
1.6. BIM w projektowaniu	19
2. Wprowadzenie do metody elementów skończonych	23
2.1. Syntetyczny opis metody elementów skończonych (MES)	23
2.2. Statyczna analiza konstrukcji	34
2.3. Dynamiczna analiza konstrukcji	39
2.4. Stateczność	41
2.5. Drgania konstrukcji z udziałem dużych sił osiowych	44
2.6. Zestawienie elementów skończonych	46
2.7. Element skończony ramy przestrzennej	49
2.7.1. Stan przemieszczenia	51
2.7.2. Stan odkształcenia	52
2.7.3. Siły węzłowe i siły przekrojowe	53
2.7.4. Macierz sztywności	56
2.7.5. Macierz geometryczna	57
2.7.6. Konsekwentna macierz bezwładności	58
2.7.7. Diagonalna macierz bezwładności	59
2.7.8. Zdiagonalizowana macierz bezwładności	59
2.7.9. Macierz sprężystego podłoża	60
2.7.10. Element prętowy o węzłach przesuniętych (statyka)	61
2.8. Płaski element powłokowy	63
2.8.1. Opis elementu	63
2.8.2. Stan przemieszczenia	65
2.8.3. Macierz sztywności	66

2.8.4.	Konsekwentna macierz bezwładności	66
2.8.5.	Siły węzłowe	66
2.9.	Element powłoki obrotowo-symetrycznej	67
2.9.1.	Opis elementu	67
2.9.2.	Stan przemieszczenia	68
2.9.3.	Stan odkształcenia	69
2.9.4.	Siły wewnętrzne	70
2.9.5.	Macierz sztywności	71
2.10.	Pierścień sprężysty	71
2.10.1.	Opis elementu	71
2.10.2.	Stan przemieszczenia i siły przekrojowe	72
2.10.3.	Macierz sztywności	73
2.10.4.	Macierz bezwładności	73
2.11.	Efekty $P-\Delta$, $P-\delta$	73
2.12.	Wiarygodność obliczeń MES	75
2.13.	Etapy realizacji zadania w systemie obliczeniowym MES	77
2.14.	Budowa systemu MES	78
2.14.1.	Preprocesor	79
2.14.2.	Processor	80
2.14.3.	Postprocesor	81
3.	Podstawy modelowania metodą elementów skończonych	83
3.1.	Proces modelowania konstrukcji na podstawie projektu 3D	83
3.1.1.	Układy współrzędnych	84
3.1.2.	Schemat realizacji obliczeń	85
3.1.3.	Wstępne przygotowanie modelu obliczeniowego	85
3.1.4.	Analiza współosiowości elementów konstrukcji	87
3.1.5.	Sprawdzenie i korekta precyzyjnego ustawienia modelu obliczeniowego	90
3.1.6.	Przyjęcie warunków brzegowych	91
3.1.7.	Przyjęcie obciążenia i wariantów obciążenia	92
3.1.8.	Podział konstrukcji na elementy skończone	92
3.1.9.	Rozwiązanie zadania	94
3.1.10.	Weryfikacja, walidacja, kalibracja	94
3.1.11.	Podsumowanie	97
3.2.	Modelowanie konstrukcji zaprojektowanej w 3D – przykład z komentarzem	98
3.2.1.	Generowanie modelu obliczeniowego na podstawie modelu 3D	99
3.2.2.	Modelowanie słupów	100
3.2.3.	Modelowanie belek	102
3.2.4.	Modelowanie ścian	103
3.2.5.	Modelowanie stropów	103
3.2.6.	Kratownice stalowe	105
3.2.7.	Zadawanie obciążeń	107
3.2.8.	Kombinacje obciążeń	107
3.2.9.	Podpory	108

3.2.10. Rezultaty obliczeń	109
3.2.11. Podsumowanie	109
4. Modelowanie wybranych konstrukcji budowlanych	113
4.1. Rama płaska	113
4.1.1. Rozwiązanie klasyczną metodą przemieszczeń	115
4.1.2. Rozwiązanie macierzową metodą przemieszczeń	119
4.1.3. Rozwiązania za pomocą MES	125
4.1.4. Podsumowanie wyników	127
4.2. Rama płaska – duże siły osiowe	129
4.2.1. Rozwiązanie ścisłe	129
4.2.2. Rozwiązanie za pomocą MES	132
4.3. Połączenie płyta-słup	133
4.3.1. Modele	135
4.3.2. Wyniki	136
4.4. Budynek wysoki	138
4.4.1. Model obliczeniowy powłokowo-prętowy	140
4.4.2. Wznoszenie budynku a nieściśliwość prętów	149
4.4.3. Model obliczeniowy – rama płaska z trzonem budynku	150
4.4.4. Model obliczeniowy – rama przestrzenna połączona ze ścianami trzonu	154
4.4.5. Podsumowanie	157
4.5. Modelowanie stropu żelbetowego	158
4.5.1. Przedmiot analizy	158
4.5.2. Grupa modeli 1 – obliczenia analityczne	164
4.5.3. Grupa modeli 2 – żebro środkowe	170
4.5.4. Grupa modeli 3 – moduł środkowy samodzielny	177
4.5.5. Grupa modeli 4 – moduł środkowy	182
4.5.6. Grupa modeli 5 – moduł narożny	187
4.5.7. Grupa modeli 6 – moduł poszerzony	192
4.5.8. Grupa modeli 7 – cała konstrukcja	197
4.5.9. Podsumowanie	201
4.6. Modelowanie pomostu	203
4.6.1. Modele prętowe	204
4.6.2. Modele prętowo-płytowe	206
4.6.3. Model bryłowy	209
4.6.4. Analiza wyników	209
4.6.5. Analiza dynamiczna	213
4.7. Modelowanie powłoki	214
4.7.1. Model p1. Dwuwymiarowe zagadnienie teorii sprężystości: model obrotowo-symetryczny	216
4.7.2. Model p2. Powłoka obrotowo-symetryczna	220
4.7.3. Model p3. Model powłokowo-prętowy	222
4.7.4. Model p4. Model powłokowo-prętowy z wieńcem częściowo podpartym	229
4.7.5. Podsumowanie analizy statycznej	231
4.7.6. Analiza dynamiczna	232

5. Standardy obliczeń komputerowych	243
5.1. Standardy weryfikacji	243
5.2. Wytyczne do weryfikacji obliczeń MES	245
5.3. Raport z obliczeń	248
Bibliografia	251
Spis rysunków	257
Spis tabel	264
Skorowidz	267