

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. Sily 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. Sily 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-Δ, P-δ | 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. Procesor | 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. Rozwiążanie 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 obciążień | 107 |
| 3.2.8. Kombinacje obciążień | 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. Rozwiązywanie klasyczną metodą przemieszczeń | 115 |
| 4.1.2. Rozwiązywanie macierzową metodą przemieszczeń | 119 |
| 4.1.3. Rozwiązańza za pomocą MES | 125 |
| 4.1.4. Podsumowanie wyników | 127 |
| 4.2. Rama płaska – duże siły osiowe | 129 |
| 4.2.1. Rozwiązywanie ścisłe | 129 |
| 4.2.2. Rozwiązywanie 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 nieścisłość 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-płytkowe | 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 |