
SPIS TREŚCI

1. WSTĘP	7
1.1. Konstrukcje prętowo-ciężnowe	7
1.2. Teoria prętów	9
1.3. Aplikacja – monitoring konstrukcji	13
1.4. Struktura opracowania	16
2. RÓWNANIA TEORII PRĘTÓW	18
2.1. Uwagi wstępne, ciało materialne typu pręt, pręt, opis ruchu	18
2.2. Całkowe i lokalne równania ruchu pręta	22
2.3. Tożsamość całkowita i zasada pracy wirtualnej dla prętów	26
2.4. Opis kinematyki pręta	29
2.5. Miary odkształceń pręta	33
2.6. Reprezentacja materialna	37
2.7. Geometria deformacji ciała typu pręt	39
2.8. Odkształcenia, naprężenia i warunki brzegowe w obszarze ciała typu pręt	45
2.9. Równania konstytutywne, ogólna koncepcja	52
2.10. Równania konstytutywne, pręty hipersprężyste	58
3. PRĘTOWE ELEMENTY SKOŃCZONE	60
3.1. Notacja macierzowo-operatorowa	60
3.2. Zasada wirtualnych przemieszczeń	61
3.3. Linearyzacja równań problemu początkowo-brzegowego	62
3.3.1. Linearyzacja zasady wirtualnych przemieszczeń	62
3.3.2. Linearyzacja funkcjonału wewnętrznej pracy wirtualnej	63
3.3.3. Linearyzacja funkcjonału wirtualnej pracy sił bezwładności	64
3.3.4. Linearyzacja funkcjonału wirtualnej pracy sił zewnętrznych	66
3.4. Przemieszczeniowe prętowe elementy skończone	67
3.4.1. Prętowy element skończony	67
3.4.2. Założenia aproksymacji skończenie wymiarowej	68
3.4.3. Reguła transformacyjna	68
3.4.4. Dyskretyzacja skończenie elementowa	69
3.4.5. Węzłowe i elementowe stopnie swobody elementu skończonego pręta	70
3.4.6. Interpolacja pól podstawowych zmiennych kinematycznych	72
3.4.7. Macierze i wektory elementu skończonego pręta	73
3.4.8. Prętowe elementy Lagrange'owskie	75
3.4.9. Dwuwęzłowy element typu krata-ciężno	76
3.4.10. Globalne równania macierzowe	80
4. PRZYKŁADY TESTOWE	81
4.1. Wsporniki prosty i załamany obciążone momentem lub siłą	81
4.2. Stateczność wspornika załamanego pod obciążeniem siłą	84
4.3. Stateczność wspornika obciążonego wzdłużnie i poprzecznie do osi	86
4.4. Wspornik zakrzywiony kołowo w planie obciążony siłą	87

4.5. Pierścień utwierdzony obciążony na końcu siłą	88
4.6. Kołowy pierścień składany dwoma momentami	90
4.7. Kratownica Misesa	93
4.8. Kabel zawieszony na różnych poziomach	94
5. APLIKACJA, DACH HALI SPORTOWEJ „OLIVIA” W GDAŃSKU	96
5.1. Opis układu	97
5.2. Obliczenia referencyjne dźwigara	99
5.3. Próbné obciążenie konstrukcji dachu	103
5.3.1. Model numeryczny i zakres obliczeń	103
5.3.2. Zakres pomiarów podczas próbnego obciążenia	107
5.3.3. Realizacja próbnego obciążenia	108
5.3.4. Wyniki próbnego obciążenia	111
5.3.5. Wnioski z próbnego obciążenia	115
5.3.6. Kalibracja modelu obliczeniowego	115
5.4. Monitoring techniczny stanu konstrukcji dachu hali „Olivia” z użyciem programu B6 jako modułu analizy	116
5.4.1. SMT OLIVIA-2	118
5.4.2. SMT OLIVIA-2 – podsystem obserwacyjny	118
5.4.3. SMT OLIVIA-2 – podsystem ostrzegawczy	120
5.4.4. Wyniki działania systemu SMT OLIVIA-2	121
6. PODSUMOWANIE	130
6.1. Zakres teoretyczny	130
6.2. Zakres techniczny	131
Bibliografia	133
Streszczenie w języku polskim	139
Streszczenie w języku angielskim	140
DODATKI	
A. KRZYWE PRZESTRZENNE, ZAGADNIENIA GEOMETRII RÓŻNICZKOWEJ	141
A.1. Parametryzacja krzywych przestrzennych, przykłady	141
A.2. Baza lokalna krzywej przestrzennej – trójścian Freneta	142
A.3. Pochodna Freneta, krzywizna i torsja	143
B. OPIS OBROTÓW, PARAMETRIZACJA GRUPY OBROTÓW, AKUMULACJA OBROTÓW	146
B.1. Tensor ortogonalny	146
B.2. Tensor skośnie symetryczny	146
B.3. Obrót właściwy, grupa obrotów $SO(3)$	146
B.4. Twierdzenie Eulera o obrotach	147
B.5. Mały obrót, przestrzeń styczna do grupy obrotów	147
B.6. Uwagi o parametryzacji obrotów	149
B.7. Parametryzacji kanoniczna	149
B.8. Parametryzacji Cayleya-Kleina, pseudowektor Rodriguesa	150
B.9. Rotacja wektorów bazowych i akumulacja obrotów	152
B.10. Pochodna kierunkowa obrotu	153
B.11. Relacje pomiędzy przyrostem obrotu zapisanym w różnych przestrzeniach stycznych	154
C. INTERPOLACJA	156

C.1. Klasyczna interpolacja w przestrzeni liniowej	156
C.2. Interpolacja tensora obrotu na $SO(3)$	157
C.3. Interpolacja wirtualnego obrotu na $so(3)$	159
D. CAŁKOWANIE NUMERYCZNE, BLOKADA, FORMY PASOŻYTNICZE	160
D.1. Całkowanie numeryczne	160
D.2. Całkowanie pełne, blokada/ zakleszczenie rozwiązań	161
D.3. Całkowania zredukowane, formy pasożytnicze/ zero-energetyczne	161
E. METODA KONTYNUACYJNA STEROWANIA ROZWIĄZANIEM NIELINIOWYM	163
E.1. Technika sukcesywnej linearyzacji, metoda Newtona	163
E.2. Procedura przyrostowo-iteracyjna	164
E.3. Aktualizacja zmiennych konfiguracyjnych	165
E.4. Zasadnicze problemy implementacji procedury iteracyjnej	165
E.5. Charakterystyka zagadnienia nieliniowego	165
E.6. Cel algorytmu	166
E.7. Uogólniona metoda kontynuacyjna	167
E.8. Kontrola zbieżności iterowanego rozwiązania	168
E.9. Sterowanie i kontrola procesu rozwiązywania	169
E.10. Kontrola zbieżności procesu iteracyjnego	169
E.11. Wyznaczanie nieliniowych punktów bifurkacji techniką zaburzeń	171
F. AUTORSKI PROGRAM DO NIELINIOWEJ ANALIZY KONSTRUKCJI PRĘTOWO- CIĘGNOWYCH	172
F.1. Budowa programu autorskiego B6	172
F.2. Gospodarka pamięcią komputera	174
F.3. Dane strukturalne	174
F.4. Dane sterujące rozwiązaniem nieliniowym	175
F.5. Wyniki	176