

Spis treści

I WSTĘP

1. Zakres tematyczny monografii	9
2. Uwagi bibliograficzne	10

II O TEORII SPRĘŻYSTO-PLASTYCZNOŚCI MAŁYCH ODKSZTAŁCEŃ

1. Podstawowe założenia teorii sprężysto-plastyczności	15
2. Sprężystość	21
2.1. Ogólna struktura relacji konstytutywnych sprężystości	21
2.2. Izotropia	24
2.3. Uwagi o implementacji związków sprężystości w programie ABAQUS	25
3. Izotropowy związek Hooke'a	26
4. Warunek plastyczności Hubera	27
5. Idealna plastyczność	28
5.1. Relacje konstytutywne idealnej plastyczności	28
5.2. Uwaga o funkcjach jednorodnych	29
5.3. Dyssypacja i interpretacja parametru plastycznego płynięcia	30
5.4. Zasada maksimum dyssypacji	31
6. Sprężysto-plastyczność z warunkiem plastyczności Hubera	32
6.1. Stowarzyszone prawo płynięcia i funkcja dyssypacji	32
6.2. Wzmocnienie izotropowe i kinematyczne	32
6.3. Przyrostowe relacje konstytutywne	33
7. Algorytm numeryczny całkowania relacji konstytutywnych plastyczności	34
7.1. Algorytm	34
7.2. Podstawowe testy numeryczne	36
8. Zadania testowe MES	40
8.1. Jednoosiowy stan naprężenia	40
8.2. Ekspansja cylindra grubościennego	42
8.3. Rozciąganie płaskownika	45

III PODSTAWOWE RÓWNANIA MECHANIKI OŚRODKÓW CIĄGŁYCH

1. Wstęp	47
2. Tensory deformacji, odkształcenia i naprężenia	48
2.1. Stan naprężenia i tensory deformacji	48
2.2. Tensory odkształcenia	52
2.3. Tensor gradientów pola prędkości oraz tensor spinu i jego interpretacja	53
3. Równania ruchu i równowagi	55
4. Wielkości i pochodne obiektywne	56
5. Współrzędne konwekcyjne i pochodna Lee	58
6. Uwagi o MES i zasadzie prac wirtualnych	59

6.1. Zasada prac wirtualnych.....	59
6.2. Uwagi o programie MES ABAQUS	60
7. Podstawowe prawa termodynamiki.....	61
7.1. I prawo termodynamiki	61
7.2. II prawo termodynamiki i nierówność Clasiusa-Duhema	62
7.3. Energia swobodna Hemholtza	63

IV HIPERSPRĘŻYSTOŚĆ

1. Zależności podstawowe	65
2. Klasyczne modele izotropowych materiałów hipersprężystych.....	67
2.1. Ogólna postać relacji konstytutywnej	67
2.2. Model materiału Murnaghana i Saint-Venata Kirchoffa	68
2.3. Styczny tensor sztywności	69
3. Alternatywne sformułowania izotropowych relacji konstytutywnych	71
3.1. Zastosowanie niezmienników podstawowych	71
3.2. Styczny tensor sztywności w opisie Eulera	73
4. Klasyfikacja izotropowych modeli hipersprężystości	73
4.1. Relacje konstytutywne z niezmiennikami deformacji izochorycznej i objętościowej	73
4.2. Klasyfikacja materiałów hipersprężystych.....	74
4.3. Relacje konstytutywne w postaci spektralnej	75
4.4. Podsumowanie	77
5. Najprostsze modele hipersprężystości materiałów izotropowych.....	79
5.1. Model materiału nieściśliwego Neo Hooke'a (NNH)	79
5.2. Model logarytmiczny Henckey'go (LN)	79
6. Uogólnienia modelu NH	83
6.1. Modele materiałów ściśliwych CNH.....	83
6.2. Modele materiałów mało ściśliwych NH (MCNH)	86
7. Modele o poliwy pukłej funkcji jednostkowej energii sprężystości.....	88
7.1. Definicja poliwy pukłości	88
7.2. Przykłady poliwy pukłych potencjałów sprężystości.....	88

V HIPERSPRĘŻYSTOŚĆ – IMPLEMENTACJA NUMERYCZNA

1. Uwagi wstępne	91
2. Idea wyprowadzenia związków przyrostowych	92
3. Wyprowadzenie operatora czwartego rzędu w przypadku materiałów MCNH	94
4. Modele materiałów CNH.....	96
5. Modele materiałów MCNH	97
6. Podstawowe testy numeryczne	99
6.1. Uwagi wstępne.....	99
6.2. Test jednoosiowego odkształcenia	100
6.3. Test prostego ścinania	104

VI HIPERSPRĘŻYSTOŚĆ – TESTY NUMERYCZNE

1. Uwagi wstępne	111
2. Rozciąganie tarczy z otworem	111
3. Osiowe ściskanie rury	115

VII TEORIE SPRĘŻYSTO-PLASTYCZNOŚCI DUŻYCH DEFORMACJI I HIPERSPRĘŻYSTO-PLASTYCZNOŚCI

1. Uwagi wstępne	123
2. Idealna plastyczność	124

3. Hiposprężysto-plastyczność	125
4. Multiplikatywna dekompozycja gradientu deformacji	127
5. Relacje konstytutywne	131
6. Relacje konstytutywne hipersprężystoplastyczności z zastosowaniem funkcji dyssypacji	133

VIII IMPLEMENTACJA MODELU SIMO HIPERSPRĘŻYSTOPLASTYCZNOŚCI

1. Sformułowanie modelu HSP	135
1.1. Założenia	137
1.2. Warunek plastyczności	137
1.3. Stowarzyszone prawo płynięcia	137
2. Algorytm całkowania relacji konstytutywnych	137
3. Operator czwartego rzędu w przypadku modelu HSP	140

IX TESTY RELACJI KONSTITUTYWNYCH HIPERSPRĘŻYSTOPLASTYCZNOŚCI

1. Wstęp	143
2. Podstawowe testy algorytmu całkowania modelu HSP	144
2.1. Test prostego ścinania	144
2.2. Test jednoosiowego odkształcenia	147
2.3. Deformacja realizująca obrót $\mathbf{F} = \mathbf{R}$	150
2.4. Deformacja jednoosiowego odkształcenia przy rozciąganiu i obrocie	151
3. Sprawdzenie poprawności implementacji modelu Simo w programie ABAQUS	153
3.1. Test prostego ścinania	156
3.2. Test jednoosiowego odkształcenia przy rozciąganiu	157
4. Porównanie modelu Simo z wybranymi modelami materiału hipersprężysto-plastycznego zaimplementowanymi w programie ABAQUS	157
4.1. Test prostego ścinania	157
4.2. Test jednoosiowego odkształcenia	159

X ZADANIA TESTOWE HIPERSPRĘŻYSTOPLASTYCZNOŚCI

1. Ekspansja cylindra grubościennego	161
1.1. Rozwiązanie analityczne – materiał sztywno-plastyczny	161
1.2. Rozwiązanie numeryczne – materiał hipersprężystoplastyczny – porównanie z wynikami dostępnymi w literaturze	164
1.3. Rozwiązanie numeryczne – materiał hipersprężystoplastyczny – porównanie z wynikami teorii małych odkształceń	166
2. Rozciąganie pręta o przekroju kołowym	170
2.1. Uwagi wstępne	170
2.2. Dane do zadania oraz analiza wyników uzyskanych w literaturze	171
2.3. Dyskusja wyników MES rozciągania pręta z zastosowaniem modelu SSP	172
2.4. Zastosowanie modeli MNHP i MMRP	176
3. Lokalizacja odkształceń w rozciągającym płaskowniku	180

XI TESTY NUMARYCZNE HIPERSPRĘŻYSTOPLASTYCZNOŚCI W ZADANIACH KONTAKTOWYCH

1. Uwagi o zagadnieniach kontaktowych	183
2. Ściskanie walca między sztywnymi płytami	184
3. Ściskanie rury między dwiema płytami	187

XII WYBRANE ZAGADNIENIA BRZEGOWE HIPERSPRĘŻYSTOPLASTYCZNOŚCI

1. Zagadnienia z niestabilnościami lokalnymi i globalnymi.....	193
2. Analiza ściskania rury o przekroju kołowym – wpływ warunków brzegowych	194
2.1. Przykład A	194
2.2. Przykład B	196
3. Analiza ściskania i rozciągania rury o przekroju eliptycznym.....	201
3.1. Przykład A – ściskanie rury o przekroju eliptycznym przy $h/R_m = 20$	201
3.2. Przykład B – ściskanie rury o przekroju eliptycznym przy $h/R_m = 10$	210
3.3. Przykład C – ściskanie rury o przekroju eliptycznym przy $h/R_m = 5$	213
3.4. Przykład D – rozciąganie rury o przekroju eliptycznym przy $h/R_m = 5$	216
4. Analiza ściskania i rozciągania rury o przekroju prostokątnym	218
5. Zadanie ściskania kątownika.....	222
6. Uwagi końcowe.....	227
XIII PODSUMOWANIE.....	229
BIBLIOGRAFIA.....	231