

# Obsah

<b>Značení a seznam použité symboliky</b>	<b>6</b>
Indexování veličin . . . . .	6
Tabulka užívaných symbolů a označení . . . . .	8
<b>1 Shrnutí teorie pružnosti</b>	<b>10</b>
1.1 Napjatost . . . . .	10
1.2 Deformace. . . . .	12
1.3 Rovnice rovnováhy . . . . .	14
1.3.1 Okrajové podmínky . . . . .	15
1.4 Konstitutivní rovnice . . . . .	17
1.5 Deformační energie . . . . .	18
1.6 Formulace úlohy pružnosti . . . . .	19
1.6.1 Úloha nepřímá . . . . .	19
1.6.2 Úloha přímá . . . . .	19
<b>2 Variační principy v mechanice poddajných těles</b>	<b>21</b>
2.1 Princip virtuálních posuvů pro soustavy hmotných bodů . . . . .	23
2.2 Princip minima celkové potenciální energie pro soustavy hmotných bodů	27
2.3 Zobecnění principu virtuálních posuvů a principu minima celkové poten- ciální energie . . . . .	30
<b>3 Typové příklady řešené variačními principy</b>	<b>34</b>
3.1 Příklad 1: Nosník zatížený spojitým zatížením . . . . .	34
3.2 Příklad 2: Nosník zatížený osamělou silou . . . . .	37
3.3 Příklad 3: Prutová soustava zatížená vodorovnou silou . . . . .	38
3.4 Příklad 4: Nosník zatížený ohybovým momentem . . . . .	40
3.5 Příklad 5: Prutová soustava zatížená svislou silou . . . . .	41
3.6 Příklad 6: Tyč zatížená vlastní tíhou . . . . .	43

<b>4</b>	<b>Přibližné variační řešení úlohy teorie pružnosti</b>	<b>45</b>
4.1	Ritzova metoda. . . . .	45
4.2	Příklad užití Ritzovy metody. . . . .	47
<b>5</b>	<b>Metoda konečných prvků - MKP</b>	<b>61</b>
5.1	MKP - úvod na příkladě tyče namáhané tahem . . . . .	61
5.1.1	Matice tvarových funkcí. . . . .	63
5.1.2	Operátor z uzlových posuvů na deformace . . . . .	64
5.1.3	Matice tuhosti . . . . .	65
5.1.4	Ekvivalentní uzlové síly . . . . .	66
5.1.5	Vlastnosti matice tuhosti elementu . . . . .	67
5.1.6	Globální konečněprvkové operátory. . . . .	70
5.2	Lineární element ve 2D kontinuu . . . . .	77
5.2.1	2D kontinuum . . . . .	77
5.2.2	Rovinný trojúhelníkový element . . . . .	78
5.2.3	Vnější síly na rovinném trojúhelníkovém elementu . . . . .	83
5.2.4	Závěrečné shrnutí . . . . .	87
5.3	Datové struktury v MKP . . . . .	88
5.3.1	Stručná rekapitulace pojmů MKP . . . . .	88
5.3.2	Datové struktury MKP. . . . .	89
5.4	Obecnější MKP modely . . . . .	93
5.4.1	Geometrická kompatibilita . . . . .	93
5.4.2	Kompatibilita posuvů . . . . .	94
5.4.3	Invariance prvku vůči transformaci souřadnicové soustavy . . . . .	95
5.5	Rovinné isoparametrické prvky . . . . .	97
<b>6</b>	<b>Modelování nosníků, ráků, skořepin a membrán</b>	<b>101</b>
6.1	Rovinný nosníkový prvek. . . . .	104
6.1.1	Regulární jádro matice tuhosti. . . . .	105
6.1.2	Stanovení matice tuhosti rovinného nosníkového prvku inverzí poddajnosti . . . . .	108
6.1.3	Stanovení matice tuhosti rovinného nosníkového prvku na základě deformační energie . . . . .	111
6.1.4	Transformace matice tuhosti rovinného nosníkového elementu do globálního souřadnicového systému . . . . .	115
6.2	Modelování tenkostěnných konstrukcí . . . . .	117
6.2.1	Geometrie tenkostěnných těles . . . . .	117

6.2.2	Kinematika deformace tenkostěnných těles . . . . .	119
6.2.3	Napjatost tenkostěnných těles . . . . .	124
6.2.4	MKP elementy pro modelování tenkostěnných těles . . . . .	126
<b>7</b>	<b>Klasifikace prostředků a postupů MKP</b>	<b>127</b>
7.1	MKP a modelování . . . . .	127
7.1.1	Modelování . . . . .	127
7.1.2	Mýty a pověry o MKP . . . . .	130
7.2	Klasifikace úloh (procedur) MKP . . . . .	132
7.2.1	Třídění z hlediska vztahu k času . . . . .	133
7.2.2	Třídění z hlediska linearity rovnic . . . . .	136
7.3	Klasifikace elementů . . . . .	140
7.3.1	Elementy diskretizující kontinuum a elementy se soustředěnými parametry . . . . .	141
7.3.2	Třídění podle dimensionalit úlohy . . . . .	142
7.3.3	Třídění podle dimensionalit elementů . . . . .	145
7.3.4	Třídění podle typu . . . . .	145
7.3.5	Třídění podle formulace . . . . .	147
7.3.6	Třídění podle topologie . . . . .	148
7.4	Klasifikace okrajových podmínek a vazbových rovnic . . . . .	149
7.4.1	Lineární a nelineární kinematické okrajové podmínky . . . . .	149
7.4.2	Silové okrajové podmínky . . . . .	150
7.5	Klasifikace konstitutivních modelů . . . . .	150
7.5.1	Elastické a inelastické konstitutivní modely . . . . .	151
7.5.2	Izotropní a anizotropní konstitutivní modely . . . . .	151
7.5.3	Konstitutivní modely závislé na historii zatěžování . . . . .	152
	<b>Literatura</b>	<b>153</b>
<b>A</b>	<b>Numerická integrace</b>	<b>154</b>
A.1	Newton-Cotesova numerická integrace . . . . .	156
A.2	Gaussova numerická integrace . . . . .	156
A.3	Vícerozměrná integrace . . . . .	157