

Obsah

Předmluva	2
1 Úvod	3
2 Modelování reálných konstrukcí	5
2.1 Mechanický model	5
2.2 Matematický model	6
3 Řešení matematického modelu	10
3.1 Přesné řešení	10
3.2 Přibližné řešení	10
3.3 Diskretizace	11
4 Základní popis MKP	14
5 Popis prvků	16
5.1 Požadavky na konvergenci	19
5.2 Popis geometrie prvku	20
5.2.1 Referenční prvek	20
5.2.1.1 Jednorozměrný prvek	20
5.2.1.2 Dvojrůzoměrný prvek	23
5.2.1.3 Prvky vyšších řádů	24
6 Základní rovnice elastostatiky	29
6.1 Základní vztahy z pružnosti a pevnosti	29
6.2 Odvození základní rovnice	31
7 Matice tuhosti a vektor zatížení základních prvků	36
7.1 Jednorozměrný prvek pro osové namáhání	36
7.2 Jednorozměrný prvek pro krut	37
7.3 Jednorozměrný prvek pro rovinný ohyb	37
7.4 Jednorozměrný prvek pro osové namáhání a rovinný ohyb	40
7.5 Jednorozměrný prvek pro osové namáhání, krut a prostorový ohyb	41
7.6 Trojúhelníkový prvek pro rovinnou úlohu	42
8 Matice tuhosti a vektor zatížení konstrukce	45
8.1 Geometrická transformace	45
8.2 Transformace vektoru zatížení	48
8.3 Transformace matice tuhosti	49
8.4 Sestavení matice tuhosti a vektoru zatížení konstrukce	49
9 Řešení statiky	54
9.1 Vliv okrajových podmínek	54
9.2 Vlastní řešení	56
9.3 Výpočet sil, přetvoření a napětí	56
9.4 Statická kondenzace	63

10 Dynamika konstrukcí	65
10.1 Matice hmotnosti	65
10.1.1 Matice hmotnosti prvku	65
10.1.2 Matice hmotnosti konstrukce	67
10.1.3 Matice soustředěných hmotností	69
10.2 Matice tlumení	70
10.3 Základní rovnice dynamiky a její modifikace	70
11. Řešení dynamiky	71
11.1 Volné kmitání	71
11.1.1 Redukce počtu stupňů volnosti	72
11.2 Vynucené kmitání	74
11.2.1 Newmarkova metoda	75
12 Poznámky k počítačovému řešení	77
12.1 Numerický výpočet matice tuhosti, matice hmotnosti a vektoru zatížení	77
12.1.1 Gaussova integrace	77
12.1.2 Jednorozměrný prvek	78
12.1.3 Dvojměrný prvek	80
12.2 Vliv číslování uzlů na tvar základních matic	83
12.3 Uložení základních matic	84
12.4 Výpočet reakcí	84
12.5 Numerické řešení základní rovnice	85
12.6 Redukce počtu stupňů volnosti	86
13 Software	87
13.1 ANSYS	87
13.2 COSMOS/M	88
14 Výpočtový model pružně uloženého stroje	90
15 Dynamické modely pohonů u výrobních strojů	93
15.1 Vazba dvou pružných hřídelů pomocí páru zabírajících ozubených kol	93
15.2 Vazba pružného hřídele s posouvajícím se členem pomocí ozubených kol a ozubeného hřebenu	95
15.3 Vazba hnacího hřídele s posouvajícím se členem pomocí torzně pružného pohybového šroubu a tuhé matice	95
15.4 Vazba mezi dvěma hřídeli pružným řemenem	96
15.5 Vazba mezi hřídeli pomocí páru zabírajících ozubených kol s poddajností v místě záběru	97
15.6 Respektování hmotnosti hřídelů v dynamickém modelu využitím MKP	97
16 Kmitání lineárních diskrétních soustav	104
16.1 Netlumená soustava	104
16.1.1 Soustava se symetrickými maticemi	104
16.1.2 Soustava s nesymetrickými maticemi	106
16.2 Tlumená soustava	109
16.2.1 Soustava s komutativní maticí tlumení	110
16.2.2 Soustava s obecnou maticí tlumení	126

17 Kinematické a dynamické řešení mechanismů průmyslových robotů a manipulátorů	131
17.1 Kinematické řešení mechanismů maticovou metodou	131
17.1.1 Vyjádření polohy tělesa	132
17.1.2 Vyjádření rychlosti tělesa	134
17.1.3 Vyjádření zrychlení tělesa	135
17.1.4 Kinematické vztahy při současných pohybech	136
17.1.5 Rotační kinematická dvojice	139
17.1.6 Posuvná kinematická dvojice	139
17.1.7 Základní pohyby	140
17.1.8 Jednoduché mechanismy PRaM s otevřeným řetězcem	141
17.1.9 Jednoduchý uzavřený kinematický řetězec	149
17.2 Využití maticové metody pro dynamické řešení mechanismů	150
17.2.1 Sestavení pohybových rovnic metodou uvolňování	150
17.2.2 Sestavení vlastních pohybových rovnic použitím Lagrangeových rovnic 2. druhu	153
Literatura	156