

OBSAH**PREDSLOV****ÚVOD**

Metóda konečných prvkov.....	8
Aplikácie metódy konečných prvkov.....	9
Algoritmus navrhovania konštrukčných prvkov pomocou metódy konečných prvkov.....	10

MKP PREPROCESSING

1. CAD a MKP geometria modelov, typy analýzy MKP.....	12
1.1. Prispôbovanie CAD geometrie modelov pre MKP.....	12
1.1.1. Potlačenie prvkov geometrie.....	13
1.1.2. Idealizácia geometrie.....	13
1.1.3. Čistenie geometrie.....	13
1.2. Typy analýzy MKP.....	14
1.2.1. Lineárna statická analýza.....	14
1.2.2. Dynamická analýza.....	15
1.2.3. Nelineárna statická analýza.....	15
1.2.3.1. Nelinearity.....	15
1.2.3.2. Malé a veľké posunutia.....	16
1.2.4. Únavová analýza.....	18
1.2.5. Analýza pádu.....	18
1.2.6. Lineárna stabilitná analýza.....	18
1.2.7. Frekvenčná analýza.....	18
1.2.8. Teplotná analýza.....	18
2. Typy konečných prvkov.....	19
2.1. Jednorozmerné konečné prvky.....	20
Delenie jednorozmerných konečných prvkov.....	21
2.1.1. Prútové jednorozmerné konečné prvky.....	22
2.1.1.1. Lineárne elastické pružiny ako jednorozmerné konečné prvky.....	22
Systém konečných prvkov v globálnom súradnom systéme.....	24
2.1.1.2. Elastické prútové konečné prvky.....	32
2.1.1.3. Deformačná energia.....	38
2.1.1.4. Castiglianov prvý teorém.....	40
2.1.1.5. Minimum potenciálnej energie.....	44
2.1.2. Prútové konštrukcie, priama tuhostná metóda.....	47
2.1.2.1. Úzlové rovnice rovnováhy.....	48
2.1.2.2. Transformácia elementu.....	52
Smerové kosínusy.....	54
2.1.2.3. Priame zostavenie globálnej matice tuhosti.....	55
2.1.2.4. Okrajové podmienky, obmedzujúce sily.....	58
2.1.2.5. Deformácie a napätia elementu.....	59
2.1.2.6. Trojrozmerné prútové konštrukcie.....	73
2.1.2.7. Vybrané jednorozmerné prútové konečné prvky TRUSS.....	78
2.1.3. Nosníkové jednorozmerné konečné prvky.....	79
2.1.3.1. Jednoduchá teória nosníkových prvkov.....	79
2.1.3.2. Nosníkový prvok.....	82
2.1.3.3. Matica tuhosti nosníkového prvku.....	86
2.1.3.4. Vektor zaťaženia elementu.....	89

2.1.3.5. Ekvivalentná práca pre distribuované zaťaženie.....	94
2.1.3.6. Nosníkový prvok s axiálnym zaťažením.....	102
2.1.3.7. Všeobecný trojrozmerný nosníkový prvok.....	108
2.1.3.8. Vybrané jednorozmerné nosníkové konečné prvky BEAM.....	111
2.2. Dvojjrozmerné konečné prvky.....	114
Delenie dvojjrozmerných konečných prvkov.....	116
2.2.1. Orientácia dvojjrozmerných konečných prvkov.....	118
2.2.1.1. Vybrané dvojjrozmerné konečné prvky SHELL.....	120
2.2.2. Rovinná napätosť.....	122
2.2.2.1. Formulácia konečných prvkov: trojuholníkový prvok.....	124
2.2.2.2. Hodnotenie matice tuhosti.....	127
2.2.2.3. Distribuované zaťaženia a telesová sila.....	129
2.2.3. Rovinná deformácia.....	137
2.2.3.1. Formulácia konečných prvkov: obdĺžnikový element.....	139
2.2.4. Isoparametrická formulácia rovinného quadrilaterálneho elementu.....	142
2.2.5. Napät'ová analýza osovej symetrie.....	149
2.2.5.1. Formulácia konečných prvkov.....	152
2.2.5.2. Zaťaženia elementu.....	154
2.3. Trojrozmerné konečné prvky.....	157
Delenie trojrozmerných konečných prvkov.....	157
2.3.1. Priestorová napätosť.....	159
2.3.1.1. Formulácia konečných prvkov.....	161
2.3.2. Výpočet deformácie a napätia.....	163
2.3.2.1. Vybrané trojrozmerné konečné prvky TETRA.....	166
2.3.3. Krútenie.....	168
2.3.3.1. Okrajové podmienky.....	171
2.3.3.2. Krútiaci moment.....	171
2.3.3.3. Formulácia konečných prvkov.....	171
Vybrané konečné prvky pre špecifické okrajové podmienky.....	175
Ukážky rôznych typov konečných prvkov.....	176
3. Metóda váhových rezíduí.....	185
3.1. Galerkinova váhová funkcia.....	186
3.2. Galerkinova metóda konečných prvkov.....	195
3.2.1. Formulácia elementov.....	197
3.3. Aplikácia Galerkinovej metódy do konštrukčných prvkov.....	204
3.3.1. Prúťový prvok.....	204
3.3.2. Nosníkový prvok.....	205
4. Interpoláčn é funkcie pre všeobecnú formuláciu prvkov.....	208
4.1. Požiadavky kompatibility a kompletnosti.....	208
4.1.1. Kompatibilita.....	208
4.1.2. Kompletnosť.....	209
4.2. Polynomické formy: Jednorozmerné konečné prvky.....	210
4.2.1. Jednorozmerné konečné prvky vyššej úrovne.....	218
4.3. Polynomické formy: Geometrická izotropia.....	222
4.4. Trojuholníkové konečné prvky.....	224
4.4.1. Plošné súradnice.....	227
4.4.2. Šesť nódový trojuholníkový konečný prvok.....	229
4.4.3. Integrácia v plošných súradniciach.....	230
4.5. Obdĺžnikové konečné prvky.....	231

4.6. Trojrozmerné konečné prvky	236
4.6.1. Štvornóbový štvorstenný konečný prvok.....	236
4.6.2. Osem nóbový tehlovoý element.....	238
4.7. Isoparametrická formulácia	240
4.8. Osovo symetrické elementy	246
4.9. Numerická integrácia, Gaussova kvadrátúra	250
Ukážky rôznych typov interpolačných funkcií.....	258
5. Okrajové podmienky, materiálovoé vlastnosti, sieť konečných prvkov	261
5.1. Okrajové podmienky	261
5.1.1. Geometrické okrajové podmienky.....	261
5.1.1.1. Stupne voľnosti.....	263
5.1.2. Silové okrajové podmienky.....	264
5.1.2.1. Zaťažovacie stavy.....	265
5.1.2.2. Imperfekcie konštrukčných prvkov.....	266
5.2. Spojenia a kontakty	268
5.2.1. Spojenia.....	268
5.2.2. Kontakty.....	269
5.2.2.1. Globálny kontakt.....	269
5.2.2.2. Kontakt komponentov.....	270
5.2.2.3. Lokálny kontakt.....	270
5.2.2.4. Kontakt nódo – nódo.....	272
5.2.2.5. Kontakt nódo – plocha.....	272
5.2.2.6. Kontakt plocha – plocha.....	272
5.3. Materiálovoé vlastnosti	273
5.3.1. Poissonova konštanta.....	273
5.3.2. Youngov modul pružnosti.....	274
5.3.3. Materiálovoé modely.....	275
5.4. Diskretizácia resp. sieť konečných prvkov	277
5.4.1. Typ konečných prvkov.....	278
5.4.2. Veľkosť konečných prvkov, počet konečných prvkov.....	278
5.4.3. Vzhľadový pomer konečných prvkov.....	279
5.4.4. Kontrola Jakobiánom.....	281
5.4.5. Lokálne zhustenie siete.....	281
5.4.6. Automatické prechody.....	283
5.4.7. Automatické opakovanie.....	283
5.4.8. Tolerancia.....	284
5.4.9. Kompatibilná a nekompatibilná sieť.....	284
5.4.10. Voľné a usporiadané automatické sieťovanie.....	286
5.4.11. Úprava siete.....	287
5.4.12. Sieťovanie tenkého telesa pomocou 3 – D konečných prvkov.....	288
5.4.13. Etapy sieťovania.....	288
5.4.14. Diagnostika poruchy siete.....	288

MKP PROCESSING

6. Typy riešičov, metódy a parametre výpočtu	290
6.1. Typy riešičov	290
6.2. Metódy výpočtu	290
6.3. Parametre výpočtu	291
6.3.1. Tlmiace pružiny.....	291
6.3.2. Vplyv zotrvačnosti.....	291
6.3.3. Efekty tuhosti.....	291

MKP POSTPROCESSING

7. Dimenzovanie konštrukčných prvkov a výsledky simulácií MKP	293
7.1. Dimenzovanie konštrukčných prvkov	293
7.1.1. Medzné stavy únosnosti a použiteľnosti.....	293
7.1.2. Módy poškodenia.....	293
7.1.3. Teória pevnosti.....	295
7.1.3.1. Haighov priestor.....	296
7.1.4. Parciálne faktory spoľahlivosti a koeficienty bezpečnosti.....	297
7.2. Výsledky simulácií MKP	299
7.2.1. Spôsoby zobrazenia výsledkov MKP.....	300
7.2.1.1. Tenzorové zobrazenie výsledkov.....	300
7.2.1.2. Animácia.....	300
7.2.1.3. Rezy.....	300
7.2.1.4. ISO zobrazenie.....	300
7.2.1.5. Sonda.....	301
7.2.1.6. Parametre zobrazenia výsledkov.....	301
7.2.2. Hodnoty výsledkov v elementoch a nódoch.....	301
7.2.3. Napätové singularity.....	302
7.2.4. Zmena súradného systému.....	304
7.2.5. Nastavenie jednotiek.....	304
7.2.6. Verifikácia riešenia úlohy.....	305
7.2.6.1. Alternatívy riešenia úlohy.....	305
7.2.6.2. Nezávislosť riešenia úlohy.....	305
7.2.7. Export výsledkov.....	305
7.3. Spracovanie výsledkov MKP v programe Matlab	306
7.3.1. Programovací jazyk Matlab.....	306
7.3.2. Knižnice Matlabu.....	306
7.3.3. Import a export dát.....	306
7.3.4. Vektory, matice a príkazy v matlabe.....	307
7.3.4.1. Elementárne matice.....	307
7.3.4.2. Zápis a operácie s vektormi a maticami.....	307
7.3.4.3. Fourierova transformácia.....	308
7.3.4.4. Jazykové štruktúry.....	308
7.3.4.5. Správa pracovného priestoru a príkazového okna.....	308
7.3.4.6. Elementárne funkcie.....	308
7.3.4.7. Matematické operátory a špeciálne znaky.....	309
7.3.4.8. Štatistické testy hypotéz.....	309
7.3.5. Práca s grafikou.....	310
7.3.5.1. Typy grafov.....	310
7.3.5.2. Popis grafov.....	310
7.3.5.3. Symboly pre rôzne typy čiar.....	310
7.3.5.4. Symboly pre rôzne typy zobrazenia bodov.....	310
7.3.5.5. Základné farby.....	310
Príklad pre postprocessing dát MKP – indikátor biaxiality, faktor bezpečnosti a S-N krivky pre predikciu životnosti.....	313
VŠEOBECNÉ ODPORÚČANIA	319
LITERATÚRA	320