

Obsah

1	Úvod	1
2	Přehled stavu poznání	3
2.1	Lineárně pružné modely	3
2.2	Nelineární modely	3
2.3	Diskrétní modely	4
2.4	Výpočetní homogenizace	4
2.4.1	Homogenizace založená na analýze struktury materiálu	4
2.4.2	Homogenizace založená na mikroanalýze numerických modelů	5
2.5	Experimentální práce	5
3	Metoda konečných prvků	6
3.1	Úvod	6
3.2	Konečné prvky	6
3.3	Výchozí předpoklady	6
3.4	Aproximace přemístění a souřadnic	8
3.5	Geometrické vztahy	9
3.6	Matice tuhosti	9
3.7	Prostorové konečné prvky	10
3.8	Začlenění materiálového modelu do MKP	11
4	Metody pro řešení nelineárních úloh	12
4.1	Úvod	12
4.2	Newtonova–Raphsonova metoda	12
4.3	Modifikovaná Newtonova–Raphsonova metoda	13
4.4	Zatěžování deformací	13
5	Materiálové modely	15
5.1	Lineárně pružné modely	15
5.1.1	Izotropní materiál	15
5.1.2	Ortotropní materiál	17
5.1.3	Ilustrace použití ortotropního materiálu	18
5.2	Homogenizace parametrů materiálu	20
5.2.1	Princip	20
5.2.2	Výpočet homogenizovaných vlastností materiálu	20
5.2.3	Ukázka použití	21
5.3	Fyzikálně nelineární modely	22

5.3.1	Zdivo a plasticita	23
5.3.2	Teorie plasticity	23
5.3.3	Pružnoplstická matice tuhosti materiálu	25
5.3.4	Chenova podmínka plasticity	26
5.3.5	Model zpevnění	29
5.3.6	Příklad použití pružnoplstického modelu	33
5.4	Konstitutivní vztahy pro materiál s trhlinami	35
5.4.1	Úvod	35
5.4.2	Materiálové vlastnosti	36
5.4.3	Určování reziduálních normálových tuhostí	36
5.4.4	Stanovení reziduální smykové tuhosti	40
5.4.5	Transformace matice tuhosti materiálu s trhlinami	41
5.4.6	Příklad stěny zatížené bodovou silou	41
5.5	Rozšíření modelu pro maltu a beton do 3D	43
5.5.1	Podmínka porušení	43
5.5.2	Model rozmazaných trhlin	43
5.5.3	Matice tuhosti materiálu ve 3D	44
5.5.4	Transformace souřadnic	46
5.6	Rozšíření pro modelování drátkobetonu	46
5.6.1	Úvod	46
5.6.2	Konstitutivní vztahy pro materiál výztuže	47
5.6.3	Příklad trámce z drátkobetonu	49
5.6.4	Diskrétní modelování drátků	52
6	Konstrukčně nelineární modely	53
6.1	Materiály působící jen v tahu	53
6.1.1	Praktické použití	54
6.1.2	Příklad stěny z materiálu působícího jen v tlaku	55
6.2	Kontaktní úlohy	55
6.2.1	Příklad sloupu s výztuhou	56
7	Modelování podloží	59
7.1	Úvod	59
7.2	Modely na bázi poloprostoru	59
7.3	Kontaktní modely podloží	61
7.4	Kombinace použití kontaktního a prostorového modelu	63
8	Tenzorová měřítka	66
8.1	Úvod	66
8.2	Princip metody tenzorových měřítek	66
8.2.1	Globální parametry anisotropie	68
8.2.2	Použití pro výpočty metodou konečných prvků	68
8.2.3	Vliv druhého materiálu	68
8.2.4	Využití tenzorových měřítek u modelů zdiva	70
8.2.5	Příklad idealizovaného 2D modelu materiálu	71
8.2.6	Příklad analýzy stěny z cihel plných pálených	74

9 Software	76
9.1 uFEM	76
9.1.1 Přehled funkcí programu	76
9.1.2 Popis programu	77
9.2 Tensor	78
9.2.1 Úvod	78
9.2.2 Přehled funkcí programu	78
9.2.3 Popis programu	78
10 Praktické aplikace	80
10.1 Karlův most	80
10.1.1 Skořepinový model	80
10.1.2 Základní prostorový model	81
10.1.3 Prostorový model s upřesněnou geometrií	82
10.1.4 Závěr	85
10.2 Klášter v Teplé	88
10.2.1 Popis modelované konstrukce	88
10.2.2 Numerické modely	89
10.2.3 Výsledky výpočtů	90
10.2.4 Závěr	91
10.3 Modelování porušených kleneb v klášteře v Teplé	94
10.3.1 Analýza konstrukce ve 2D	94
10.3.2 Nelineární analýza	95
10.3.3 Modelování opravených konstrukcí	99
10.3.4 Závěr	100
11 Závěry	103
11.1 Dosažený stav	103
11.2 Možnosti dalšího rozvoje	104
Přílohy	111