

OBSAH

PREDHOVOR	3
1 ÚVOD	5
1.1 CIELE A METÓDY PEVNOSTNÝCH VÝPOČTOV A OVERENIE PODMIENOK SPOĽAHLIVOSTI	12
1.2 VÝPOČTOVÉ MODELY V PEVNOSTNÝCH VÝPOČTOCH	17
2 MECHANICKÉ VLASTNOSTI MATERIÁLOV	19
2.1 STATICKÉ SKÚŠKY	20
2.1.1 <i>Mechanické vlastnosti pri skúške ťahom</i>	20
2.1.2 <i>Diagram skutočnej závislosti napätie-deformácia</i>	30
2.2 DEFORMAČNÉ CHARAKTERISTIKY	33
2.3 LOM PRI SKÚŠKE ŤAHOM	39
2.4 MECHANICKÉ VLASTNOSTI PRI NAMÁHANÍ JEDNOOSOVÝM TLAKOM	42
2.5 MECHANIZMUS LOMU V REÁLNYCH KOVOCH	46
2.6 ODOLNOSŤ PROTI KREHKÉMU PORUŠENIU	47
2.6.1 <i>Skúška vrubovej húževnatosti</i>	50
2.6.2 <i>Skúška teploty nulovej húževnatosti - NDT</i>	54
2.6.3 <i>Skúška veľkých telies na ohyb pri ráze - DWTT</i>	54
2.6.4 <i>Skúška teploty zastavenia trhliny podľa Robertsona</i>	55
2.6.5 <i>Diagram analýzy porušenia</i>	57
2.6.6 <i>Význam kritérií založených na prechodovej teplote</i>	58
2.6.7 <i>Kritériá lomovej mechaniky</i>	58
2.7 SKÚŠKY ÚNAVOVEJ PEVNOSTI	60
2.8 SMITHOV DIAGRAM ÚNAVY	70
2.9 ZMENY MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ	72
2.9.1 <i>Závislosť niektorých mechanických vlastností od teploty</i>	72
2.9.2 <i>Tečenie materiálu pri vysokých teplotách</i>	73
2.9.3 <i>Vplyv deformačného spevnenia a starnutia</i>	74
2.9.4 <i>Vplyv deformačnej rýchlosti</i>	75
2.9.5 <i>Vplyv hrúbky steny a veľkosti súčiastky</i>	76
3 GEOMETRICKÉ CHARAKTERISTIKY PRIEREZOVÝCH PLÔCH	77
3.1 STATICKÉ MOMENTY PLOCHY, SÚRADNICE ŤAŽISKA PLOCHY	77
3.2 KVADRATICKÉ MOMENTY PLOCHY	78
3.3 KVADRATICKÉ MOMENTY PLOCHY K ROVNOBEŽNÝM OSIAM	79
3.4 KVADRATICKÉ MOMENTY PLOCHY K POOTOČENÝM OSIAM	80
3.5 URČENIE SMEROV A VEĽKOSTI HLAVNÝCH OSOVÝCH KVADRATICKÝCH MOMENTOV PLOCHY	81
3.6 GRAFICKÉ URČENIE KVADRATICKÝCH MOMENTOV PLÔCH K POOTOČENÝM OSIAM	82
3.7 POLOMERY A ELIPSA OSOVÝCH KVADRATICKÝCH MOMENTOV PLOCHY	83
3.8 PRIEREZOVÉ MODULY	84
3.9 GEOMETRICKÉ VELIČINY ANALOGICKÉ POLÁRNEMU KVADRATICKÉMU MOMENTU A PRIEREZOVÉMU MODULU V KRÚTENÍ	85

4 ZÁKLADNÝ MATEMATICKEJ TEÓRIE PRUŽNOSTI	97
4.1 NAPÄTOSŤ	97
4.2 POSUVY A DEFORMÁCIE	104
4.3 PODMIENKY KOMPATIBILITY – SPOJITOSŤ TELESA	110
4.4 STATICKÉ DIFERENCIÁLNE ROVNICE ROVNOVÁHY	112
4.4.1 <i>Diferenciálne rovnice rovnováhy v pravouhlých súradniciach</i>	112
4.4.2 <i>Diferenciálne rovnice rovnováhy vo valcových súradniciach</i>	114
4.4.3 <i>Diferenciálne rovnice rovnováhy v guľových súradniciach</i>	115
4.4.4 <i>Statické diferenciálne rovnice rovnováhy pre rovinnú napätosť</i>	115
4.5 FYZIKÁLNE ROVNICE	116
4.5.1 <i>Zohľadnenie vplyvu teploty</i>	118
4.5.2 <i>Hookeov zákon pre rovinnú napätosť</i>	119
4.5.3 <i>Hookeov zákon pre rovinnú deformáciu</i>	121
4.6 ZÁKLADNÉ METÓDY RIEŠENIA ÚLOH MATEMATICKEJ TEÓRIE PRUŽNOSTI	121
4.6.1 <i>Okrajové podmienky</i>	122
4.6.1.1 <i>Statické okrajové podmienky</i>	122
4.6.1.2 <i>Geometrické okrajové podmienky</i>	123
4.6.2 <i>Postupy riešenia úloh matematickej teórie pružnosti</i>	123
4.6.2.1 <i>Riešenie prostredníctvom zložiek posuvov</i>	124
4.6.2.2 <i>Riešenie prostredníctvom zložiek tenzora napätosti</i>	125
4.6.2.3 <i>Riešenie využitím funkcie napätia</i>	127
4.7 ROVINNÉ ÚLOHY TEÓRIE PRUŽNOSTI	128
4.7.1 <i>Riešenie v zložkách napätia</i>	129
4.7.2 <i>Riešenie v zložkách posuvov</i>	129
4.7.3 <i>Riešenie rovinatej úlohy pomocou funkcie napätia</i>	131
5 ENERGETICKÉ PRINCÍPY	137
5.1 POTENCIÁLNA ENERGIA PRE JEDNOOSOVÚ NAPÄTOSŤ	137
5.2 POTENCIÁLNA ENERGIA NAPÄTOSTI PRE ČISTÝ ŠMYK	138
5.3 MERNÁ ENERGIA NAPÄTOSTI PRE TROJOSOVÚ NAPÄTOSŤ	138
5.4 MERNÁ ENERGIA NAPÄTOSTI PRE ZMENU OBJEMU A TVARU	139
5.5 ZOVŠEOBECNENÉ SÚRADNICE A PRINCÍP VIRTUÁLNYCH PRÁC	140
5.6 CASTIGLIANOVE VETY	144
5.7 VETA O MINIME CELKOVEJ POTENCIÁLNEJ ENERGIE	144
5.8 PRINCÍP SUPERPOZÍCIE, BETTIHO VETA A MAXWELLOVE VETY	146
5.9 VETA O JEDNOTKOVOM POSUVE A O JEDNOTKOVEJ SILE	148
5.10 METÓDA KÁNONICKÝCH ROVNÍC	153
6 HYPOTÉZY PEVNOSTI – MEDZNÉ PODMIENKY	155
6.1 HYPOTÉZY PRE POSÚDENIE VZNIKU KREHKÉHO PORUŠENIA	157
6.1.1 <i>Medzná podmienka σ_{\max} - Rankinova hypotéza</i>	157
6.1.2 <i>Medzná podmienka ε_{\max} - Saint Vénantova hypotéza</i>	158
6.1.3 <i>Medzná podmienka – Mohrova hypotéza</i>	160
6.2 HYPOTÉZY PRE POSÚDENIE VZNIKU PLASTICKÝCH DEFORMÁCIÍ	162

6.2.1	Medzná podmienka τ_{\max} - Trescova - Guestova hypotéza	162
6.2.2	Medzná podmienka celkovej energie napätosti – Beltramiho hypotéza	164
6.2.3	Medzná podmienka energie napätosti pre zmenu tvaru – HMM (Huber-Mises-Hencky) hypotéza	166
6.3	UNIVERZÁLNE HYPOTÉZY	167
6.4	HODNOTENIE MEDZNÝCH PODMIENOK PORUŠENIA A PLASTICKEJ DEFORMÁCIE	168
6.5	VYUŽITIE PODMIENOK PEVNOSTI PRE ZVLÁŠTNÝ PRÍPAD ROVINNEJ NAPÄTOSTI	169
6.5.1	Podmienka pevnosti pre húževnaté materiály	169
6.5.2	Podmienky pevnosti pre krehké materiály	170
6.6	POUŽITIE HYPOTÉZY PEVNOSTI PRI VÝPOČTOCH	170
7	PRIAME PRÚTY A PRÚTOVÉ SÚSTAVY	171
7.1	PRIAME PRÚTY ZAŤAŽENÉ SILAMI PÔSOBIACIMI V ICH OSI	174
7.1.1	Namáhanie ťahom, resp. tlakom, so zreteľom na sily vlastnej tiaže	175
7.2	PRIAME PRÚTY NAMÁHANÉ MOMENTOM V ROVINE KOLMEJ NA OS PRÚTA – HRIADELE	177
7.2.1	Napätosť a deformácia pri krútení	177
7.2.2	Krútenie prútov nekrúhového prierezu	179
7.3	OHÝBANÉ PRIAME PRÚTY – NOSNÍKY	183
7.3.1	Vnútné silové veličiny pri ohybe a diferenciálne závislosti medzi nimi	183
7.3.2	Normálové napätie pri rovinnom ohybe	184
7.3.3	Šmykové napätia pri rovinnom ohybe	186
7.3.4	Úplná pevnostná kontrola	188
7.3.5	Diferenciálna rovnica priehybovej čiary	192
7.3.6	Určenie deformácie nosníkov metódou počiatočných parametrov	193
7.3.7	Výpočet deformácií nosníkov metódou statickej analógie – Mohrova metóda	196
7.3.8	Výpočet deformácií nosníkov premenného prierezu	198
7.3.9	Využitie Mohrovho integrálu pri výpočte deformácií	201
7.3.10	Vplyv posúvajúcej sily na deformáciu nosníkov pri ohybe	201
7.3.11	Stred ohybu	203
7.3.12	Riešenie staticky neurčitých priamych nosníkov	205
7.3.12.1	Výpočet staticky neurčitých systémov metódou porovnania deformácií	205
7.3.12.2	Spojité nosníky na viacerých podperách. Trojmomentová - Clapeyronova rovnica	209
7.3.13	Nosníky na pružnom podklade	211
7.4	ZLOŽENÉ NAMÁHANIE PRIAMÝCH PRÚTOV	215
7.4.1	Priestorový (šikmý) ohyb	215
7.4.2	Kombinované namáhanie ťah (tlak) a ohyb	219
7.5	KRÚTENIE A OHYB PRÚTOV KRUHOVÉHO A MEDZIKRUHOVÉHO PRIEREZU	223
8	ZAKRIVENÉ A ZALOMENÉ PRÚTY A RÁMY	227
8.1	ZAKRIVENÉ A ZALOMENÉ ROVINNÉ PRÚTY A RÁMY	227
8.1.1	Vnútné silové veličiny v staticky určitých zakrivených a zalomených prútoch	227

8.1.2	<i>Vnútorne silové veličiny v staticky neurčitých zakrivených a zalomených prútoch a rámoch</i>	229
8.1.3	<i>Napätia vo veľmi zakrivených prútoch</i>	236
8.1.3	<i>Napätia a deformácie v zakrivených a zalomených prútoch a rámoch</i>	238
8.2	VINUTÉ PRUŽINY	244
8.2.1	<i>Skрутkovicová valcová pružina s kruhovým prierezom</i>	244
8.2.2	<i>Kuželová skрутkovicová pružina s kruhovým prierezom</i>	246
8.2.3	<i>Špirálová pružina</i>	247
9	DOSKOVÉ A ŠKRUPINOVÉ KONŠTRUKČNÉ PRVKY	249
9.1	DOSKY	249
9.1.1	<i>Kirchhoffove obdĺžnikové dosky</i>	250
9.1.2	<i>Kruhové Kirchoffove dosky</i>	254
9.1.3	<i>Pravouhlé tenké dosky</i>	261
9.2	TENKOSTENNÉ ŠKRUPINY	264
9.2.1	<i>Bezmomentová teória rotačných škrupín</i>	267
9.2.2	<i>Výpočet deformácií pri bezmomentovej teórii rotačných škrupín</i>	271
9.2.3	<i>Momentová teória rotačných škrupín</i>	272
9.2.4	<i>Namáhanie a deformácia valcovej rotačnej škrupiny s konštantnou hrúbkou steny h, osovo symetricky zaťaženej, pri aplikácii momentovej teórie</i>	277
10	HRUBOSTENNÉ VALCOVÉ NÁDOBY	283
10.1	NAPÄTOSŤ V HRUBOSTENNÝCH VALCOVÝCH NÁDOBÁCH	283
10.2	PODMIENKY PEVNOSTI HRUBOSTENNÝCH VALCOVÝCH NÁDOB	287
10.3	DEFORMÁCIA PLÁŠŤA VALCOVEJ NÁDOBY	289
10.4	NALISOVANÉ NÁDOBY	289
11	ROTUJÚCE KOTÚČE	297
11.1	ROTUJÚCI KOTÚČ KONŠTANTNEJ HRÚBKY	297
11.2	ROTUJÚCI KOTÚČ STÁLEJ PEVNOSTI	302
11.3	ROTUJÚCI KOTÚČ S NESPOJITOU ZMENOU HRÚBKY	303
11.4	UVOLŇOVACIE OTÁČKY KOTÚČA NALISOVANÉHO NA PLNOM HRIADELI BEZ VONKAJŠIEHO ZAŤAŽENIA	303
12	STABILITA NOSNÝCH PRVKOV	305
12.1	STABILITA PRÚTOV	307
12.1.1	<i>Určenie kritickej vzpernej sily prútoch namáhaných osovou silou</i>	307
12.1.2	<i>Prúty zaťažené priečnymi a osovými silami</i>	317
12.1.2.1	<i>Riešenie integráciou diferenciálnej rovnice</i>	318
12.1.2.2	<i>Energetická metóda</i>	321
12.2	STABILITA DOSIEK	325
12.2.1	<i>Obdĺžnikové dosky konštantnej hrúbky</i>	325
12.3	STABILITA ŠKRUPÍN	332
13	NAMÁHANIE PRI RÁZE	335
13.1	ZÁKLADNÉ POJMY O RÁZE	335
13.2	RÁZOVÉ NAMÁHANIE PRUŽNEJ SÚSTAVY S JEDNÝM STUPŇOM VOLNOSTI	336
13.2.1	<i>Pružná sústava bez osamelej hmoty</i>	336

13.2.2	<i>Ráz pružnej sústavy s osamelou hmotou</i>	343
13.3	RÁZOVÉ NAMÁHANIE PRUŽNEJ SÚSTAVY S VIACERÝMI STUPŇAMI VOL'NOSTI	351
13.4	RÁZOVÉ NAMÁHANIE PRUŽNEJ SÚSTAVY SO SPOJITE ROZLOŽENOU HMOTOU	354
13.5	SPRESNENÉ METÓDY VÝPOČTU PRI RÁZE	354
14	TVAROVÁ A ÚNAVOVÁ PEVNOSŤ	361
14.1	POJEM A DEFINÍCIA ÚNAVY	361
14.2	FAKTORY OVPLYVŇUJÚCE ÚNAVOVÚ ŽIVOTNOSŤ	364
14.3	NÍZKOCYKLOVÁ ÚNAVA	369
14.4	ODHAD ÚNAVOVÉHO ŽIVOTA	374
14.5	ÚNAVA SÚČIASTOK S VRUBOM	376
14.6	ODHAD ÚNAVOVEJ PEVNOSTI PRE DLHÚ DOBU ŽIVOTA	385
14.7	ODHAD KRIVIEK $\sigma - N$	389
14.8	ŠÍRENIE ÚNAVOVEJ TRHLINY	394
14.8.1	<i>Mechanizmus šírenia únavových trhlin</i>	396
14.9	POSÚDENIE KONŠTRUKCIÍ NA ÚNAVU PODĽA STN 73 1401	398
14.9.1	<i>Prípady nevyžadujúce posúdenie na únavu</i>	399
14.9.2	<i>Predpoklady výpočtu na únavu</i>	400
14.9.3	<i>Parciálne súčinitele spoľahlivosti pri výpočte na únavu</i>	400
14.9.4	<i>Únavové namáhanie</i>	401
14.9.5	<i>Únavová pevnosť</i>	402
14.9.6	<i>Posúdenie na únavu</i>	406
14.9.6.1	<i>Namáhanie s konštantným rozkmitom napätí</i>	406
14.9.6.2	<i>Namáhanie s premenným rozkmitom napätí</i>	407
14.9.6.3	<i>Ekvivalentný rozkmit napätia</i>	408
14.9.6.4	<i>Hodnotenie konštrukčných detailov s defektmi</i>	409
14.9.6.5	<i>Zvýšenie únavovej pevnosti konštrukčného detailu</i>	409
14.10	KONCENTRÁCIA NAPÄTIA V KONKRÉTNEJ SÚČIASTKE	410
14.11	MEDZA ÚNAVY SKUTOČNEJ SÚČIASTKY A MIERA BEZPEČNOSTI PRI CYKlickOM NAMÁHANÍ	411
14.12	MIERA BEZPEČNOSTI PRI ZLOŽENOM NAMÁHANÍ NA ÚNAVU	412
15	NAMÁHANIE PRI TEČENÍ	419
15.1	ZÁKLADY REOLÓGIE HMÔT	419
15.1.1	Základné reologické látky	419
15.1.2	<i>Pružnetvárne (pružneplastické) hmoty</i>	422
15.1.3	<i>Pružneviskózne a pružnevláčne hmoty. Relaxácia a dopružovanie</i>	422
15.2	VPLYV TEPLoty NA MECHANICKÉ VLASTNOSTI KOVOV	426
15.3	VPLYV FAKTORU ČASU NA DEFORMÁCIU	427
15.4	POSTUP VÝPOČTU NA TEČENIE	429
15.4.1	<i>Výpočty na tečenie pri základných spôsoboch namáhania</i>	429
15.5	POŠKODZOVANIE PRVKOV TEČENÍM ZA TEPLA	435
15.6	TEPLOTNÁ A NÍZKOCYKLOVÁ ÚNAVA TELIES	438

16	ZÁKLADY TEÓRIE PLASTICITY A ICH APLIKÁCIA V TECHNOLOGICKÝCH PROCESOCH	441
16.1	KRITICKÉ ŠMYKOVÉ NAPÄTIE PRI SKLZE	444
16.2	APROXIMÁCIA ŤAHOVÝCH DIAGRAMOV	446
16.3	DOPLNKY K ROZBORU NAPÄTOSTI A DEFORMÁCIÍ	450
16.3.1	<i>Guľový tenzor a deviátor tenzora napätia</i>	450
16.3.2	<i>Začiatok vzniku plastickej deformácie</i>	451
16.3.3	<i>Intenzita napätia</i>	451
16.3.4	<i>Merná energia napätosti</i>	452
16.3.5	<i>Guľový tenzor a deviátor tenzora deformácie</i>	453
16.3.6	<i>Intenzita deformácie</i>	453
16.3.7	<i>Rýchlosť deformácie</i>	454
16.4	PODMIENKY PLASTICITY	455
16.4.1	<i>Podmienka stálosti intenzity šmykových napätí</i>	456
16.4.2	<i>Podmienka stálosti maximálneho šmykového napätia</i>	456
16.4.3	<i>Grafické znázornenie podmienok plasticity</i>	457
16.5	TEÓRIE PLASTICITY	457
16.5.1	<i>Henckyova – Nádaiova teória</i>	458
16.5.2	<i>Prandtlova – Reussova teória</i>	459
16.5.3	<i>Teória malých pružneplastických deformácií</i>	460
16.6	PODMIENKY PLASTICITY PRI ROVINNEJ DEFORMÁCII	461
16.7	DIFERENCIÁLNE ROVNICE SKLZOVÝCH ČIAR	462
16.7.1	<i>Henckeho rovnice</i>	463
16.7.2	<i>Vlastnosti sklzových čiar – Henckeho zákon</i>	463
17	NAMÁHANIE NAD MEDZOU KLZU	467
17.1	NAPÄTIA V PRUŽNEPLASTICKY DEFORMOVANÝCH PRÚTOCH. URČENIE MEDZNÉHO ZAŤAŽENIA PRI ŤAHU A TLAKU	467
17.2	PRUŽNEPLASTICKÝ OHYB	470
17.3	PRUŽNEPLASTICKÝ KRUT KRUHOVÉHO PRIEREZU	473
17.4	PRISPÔSOBENIE A MEDZNÝ STAV KONŠTRUKCIÍ V PRUŽNEPLASTICKOM STAVE	474
18	NUMERICKÉ METÓDY V PEVNOSTNÝCH A TUHOSTNÝCH VÝPOČTOCH	481
18.1	METÓDA SIETÍ (DIFERENČNÁ METÓDA)	481
18.2	PRIAMA DEFORMAČNÁ METÓDA	487
18.3	METÓDA KONEČNÝCH PRVKOV	490
18.3.1	<i>Vybrané typy prvkov</i>	494
18.3.2	<i>Izoparametrické prvky</i>	497
18.3.3	<i>Numerická integrácia</i>	499
18.3.4	<i>Metódy riešenia rovníc v MKP</i>	500
18.3.5	<i>Chyby riešenia</i>	502
18.4	METÓDA HRANIČNÝCH PRVKOV	502
18.5	STRUČNÉ OPISY NAJROZŠÍRENEJŠÍCH PROGRAMOVÝCH PRODUKTOV	508
	LITERATÚRA	511