



## OBSAH

	<b>PREDHOVOR</b>	9
<b>1</b>	<b>ÚVOD</b>	11
1.1	CIELE A METÓDY PEVNOSTNÝCH VÝPOČTOV A OVERENIE PODMIENOK SPOĽAHLIVOSTI	15
1.2	VÝPOČTOVÉ MODELY V PEVNOSTNÝCH VÝPOČTOCH PRI ZOHĽADNENÍ MEDZNÝCH STAVOV	20
<b>2</b>	<b>PEVNOSTNÉ, LOMOVÉ A DEFORMAČNÉ VLASTNOSTI MATERIÁLOV TLAKOVÝCH SÚSTAV</b>	23
2.1	MECHANICKÉ VLASTNOSTI PRI STATICKEJ SKÚŠKE ŤAHOM	24
2.2	DIAGRAM SKUTOČNEJ ZÁVISLOSTI NAPÄTIE – DEFORMÁCIA	30
2.3	DEFORMAČNÉ CHARAKTERISTIKY MATERIÁLOV	33
2.4	LOM PRI SKÚŠKE ŤAHOM	41
2.5	MECHANICKÉ VLASTNOSTI PRI NAMÁHANÍ JEDNOOSOVÝM TLAKOM	44
2.6	MECHANIZMUS LOMU V REÁLNYCH KOVOCH	48
	2.6.1 Odolnosť proti krehkému porušeniu	49
	2.6.2 Skúška rázovej húževnatosti	52
	2.6.3 Skúška teploty nulovej húževnatosti – NDT	56
	2.6.4 Skúška veľkých telies na ohyb pri ráze – DWTT	56
	2.6.5 Skúška teploty zastavenia trhliny podľa Robertsona	57
2.7	DIAGRAM ANALÝZY PORUŠENIA	59
2.8	KRITÉRIÁ ZALOŽENÉ NA PRECHODOVEJ TEPLOTE	60
2.9	KRITÉRIÁ LOMOVEJ MECHANIKY	61
2.10	SKÚŠKY ÚNAVOVEJ PEVNOSTI	62
2.11	ZMENY MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ	74
	2.11.1 Zmeny mechanických vlastností od teploty	74
	2.11.2 Tečenie materiálu pri vysokých teplotách	75
	2.11.3 Vplyv deformačného spevnenia a starnutia	76
	2.11.4 Vplyv deformačnej rýchlosti	78
	2.11.5 Vplyv hrúbky steny a veľkosti súčiastky	78
2.12	POŽIADAVKY NA MATERIÁLY URČENÉ NA PRVKY TLAKOVÝCH SÚSTAV	79
2.13	OCELE NA PRVKY TLAKOVÝCH ZARIADENÍ	81
2.14	PREDCHÁDZANIE KREHKÉMU PORUŠENIU PRI NÍZKYCH TEPLOTÁCH	84



<b>3</b>	<b>ÚLOHY MATEMATICKEJ TEÓRIE PRUŽNOSTI, VYUŽITIE ENERGETICKÝCH PRINCÍPOV A NUMERICKÝCH METÓD PRI ICH RIEŠENÍ</b>	<b>101</b>
3.1	NAPÄTOSŤ	101
3.2	POSUVY A DEFORMÁCIE	109
3.3	PODMIENKY KOMPATIBILITY – SPOJITOSŤ TELESA	115
3.4	STATICKE DIFERENCIÁLNE ROVNICE ROVNOVÁHY	117
	3.4.1 Diferenciálne rovnice rovnováhy v pravouhlých súradniciach	117
	3.4.2 Diferenciálne rovnice rovnováhy vo valcových súradniciach	119
	3.4.3 Diferenciálne rovnice rovnováhy v guľových súradniciach	120
	3.4.4 Statické diferenciálne rovnice rovnováhy pre rovinnú napätosť	120
3.5	FYZIKÁLNE ROVNICE	121
	3.5.1 Zohľadnenie vplyvu teploty	124
	3.5.2 Hookeov zákon pre rovinnú napätosť	125
	3.5.3 Hookeov zákon pre rovinnú deformáciu	126
3.6	ZÁKLADNÉ METÓDY RIEŠENIA ÚLOH MATEMATICKEJ TEÓRIE PRUŽNOSTI	127
	3.6.1 Okrajové podmienky	128
	3.6.1.1 Statické okrajové podmienky	128
	3.6.1.2 Geometrické okrajové podmienky	129
	3.6.2 Postupy riešenia úloh matematickej teórie pružnosti	129
	3.6.2.1 Riešenie prostredníctvom zložiek posuvov	130
	3.6.2.2 Riešenie prostredníctvom zložiek tenzora napätosti	131
	3.6.2.3 Riešenie využitím funkcie napätia	133
3.7	ROVINNÉ ÚLOHY TEÓRIE PRUŽNOSTI	134
	3.7.1 Riešenie v zložkách napätia	135
	3.7.2 Riešenie v zložkách posuvov	135
	3.7.3 Riešenie rovinatej úlohy pomocou funkcie napätia	137
3.8	UPLATNENIE ENERGETICKÝCH PRINCÍPOV PRI RIEŠENÍ ÚLOH MATEMATICKEJ TEÓRIE PRUŽNOSTI	139
	3.8.1 Potenciálna energia pre jednoosovú napätosť	139
	3.8.2 Potenciálna energia napätosti pre čistý šmyk	140
	3.8.3 Merná energia napätosti pre trojosovú napätosť	140
	3.8.4 Merná energia napätosti pre zmenu objemu a tvaru	141
	3.8.5 Zovšeobecnené súradnice a princíp virtuálnych prác	143



3.8.6	Castiglianove vety	146
3.8.7	Veta o minime celkovej potenciálnej energie	147
3.8.8	Princíp superpozície, Bettiho veta a Mawellove vety	149
3.9	<b>NUMERICKÉ METÓDY V PEVNOSTNÝCH A TUHOSTNÝCH VÝPOČTOCH</b>	<b>151</b>
3.9.1	Metóda sietí (diferenčná metóda)	151
3.9.2	Priama deformačná metóda	158
3.9.3	Metóda konečných prvkov	162
3.9.3.1	<i>Vybrané typy prvkov</i>	167
3.9.3.2	<i>Izoparametrické prvky</i>	169
3.9.3.3	<i>Numerická integrácia</i>	172
3.9.3.4	<i>Metódy riešenia rovníc v MKP</i>	173
3.9.3.5	<i>Chyby riešenia</i>	174
3.9.4	Metóda hraničných prvkov	175
3.9.5	Stručné opisy najrozšírenejších programových produktov	181
<b>4</b>	<b>HRUBOSTENNÉ VALCOVÉ NÁDOBY</b>	<b>183</b>
4.1	NAPĀTOSŤ V HRUBOSTENNÝCH VALCOVÝCH NÁDOBÁCH	183
4.2	PODMIENKY PEVNOSTI HRUBOSTENNÝCH VALCOVÝCH NÁDOB	188
4.3	DEFORMÁCIA PLÁŠŤA VALCOVEJ NÁDOBY	190
4.4	NALISOVANÉ NÁDOBY	190
<b>5</b>	<b>DOSKOVÉ A ŠKRUPINOVÉ KONŠTRUKČNÉ PRVKY TLAKOVÝCH SÚSTAV</b>	<b>199</b>
5.1	DOSKY	199
5.1.1	Kirchhoffove obdĺžnikové dosky	200
5.1.2	Kruhové Kirchhoffove dosky	204
5.1.3	Výpočet tenkých dosiek	231
5.2	TENKOSTENNÉ ŠKRUPINY	234
5.2.1	Bezmomentová teória rotačných škrupín	237
5.2.2	Výpočet deformácií bezmomentovou teóriou rotačných škrupín	245
5.2.3	Momentová teória rotačných škrupín	247
5.2.4	Namáhanie a deformácia valcovej rotačnej škrupiny s konštantnou hrúbkou steny, osovo symetricky zaťaženej, pri aplikácii momentovej teorie	252



<b>6</b>	<b>STABILITA A KMITANIE KONŠTRUKČNÝCH PRVKOV TLAKOVÝCH SÚSTAV</b>	<b>259</b>
6.1	STABILITA NOSNÝCH PRVKOV	259
6.1.1	Určenie straty stability kruhových prstencov	260
6.1.2	Stabilita dosiek	262
6.1.2.1	<i>Stabilita obdĺžnikových dosiek konštantnej hrúbky</i>	262
6.1.2.2	<i>Stabilita kruhových a medzikruhových dosiek konštantnej hrúbky</i>	265
6.1.3	Stabilita škrupín	267
6.1.3.1	<i>Stabilita rotačných valcových škrupín</i>	268
6.1.3.2	<i>Stabilita rotačných kužeľových škrupín</i>	274
6.1.3.3	<i>Stabilita guľových škrupín</i>	276
6.2	KMITANIE DOSIEK A ŠKRUPÍN	277
6.2.1	Klasifikácia mechanických kmitov	277
6.2.2	Voľné kmitanie obdĺžnikových dosiek konštantnej hrúbky	279
6.2.3	Voľné kmitanie kruhových a medzikruhových dosiek konštantnej hrúbky	280
6.2.4	Voľné kmitanie škrupín	283
6.2.4.1	<i>Valcové škrupiny konštantnej hrúbky</i>	284
6.2.4.2	<i>Guľové škrupiny konštantnej hrúbky</i>	287
6.2.4.3	<i>Rotačné kužeľové škrupiny konštantnej hrúbky</i>	287
<b>7</b>	<b>NAVRHOVANIE TLAKOVÝCH NÁDOB PODĽA STN EN 13445</b>	<b>289</b>
7.1	ZÁKLADNÉ KRITÉRIÁ NAVRHOVANIA	295
7.1.1	Korózia, erózia a ochrana prvkov tlakových nádob	295
7.1.2	Prípady zaťažovania	296
7.1.2.1	<i>Klasifikácia prípadov zaťaženia</i>	297
7.1.2.2	<i>Spôsoby porušenia, tlakové a teplotné parametre</i>	298
7.1.3	Metódy navrhovania	299
7.1.4	Výpočty hrúbky podľa vzorcov (DBF)	300
7.1.5	Súčiniteľ spoja	301
7.1.6	Návrhové požiadavky na zvarové spoje	301
7.2	MAXIMÁLNE DOVOLENÉ HODNOTY NOMINÁLNEHO NÁVRHOVÉHO NAPÄTIA PRE TLAKOVÉ ČASTI	302
7.2.1	Všeobecné poznámky	302

7.2.2	Ocele (s výnimkou odliatkov), okrem austenitických ocelí uvedených v podkapitolách 7.2.4 a 7.2.5 s minimálnou ťažnosťou pod 30%	304
7.2.3	Alternatívny spôsob pre ocele (okrem odliatkov), iné ako sú austenitické ocele podľa podkapitol 7.2.4 a 7.2.5 s minimálnou ťažnosťou nižšou ako 30%	304
7.2.4	Austenitické ocele (okrem odliatkov) s minimálnou ťažnosťou 30% až 35%	305
7.2.5	Austenitické ocele (okrem odliatkov) s minimálnou ťažnosťou väčšou ako 35%	305
7.2.6	Ocele na odliatky	306
7.3	ŠKRUPINY ZAŤAŽENÉ VNÚTORNÝM TLAKOM	306
7.3.1	Špecifické termíny, definície, symboly a skratky	306
7.3.2	Valcové a guľové plášte	307
7.3.2.1	<i>Valcové plášte</i>	307
7.3.2.2	<i>Guľové plášte</i>	308
7.3.3	Klenuté dná	308
7.3.3.1	<i>Polguľové dná</i>	308
7.3.3.2	<i>Torosférické dná</i>	308
7.3.3.3	<i>Eliptické dná</i>	311
7.3.4	Kuželové plášte a kuželové dná	312
7.3.4.1	<i>Špecifické symboly a skratky</i>	313
7.3.4.2	<i>Kuželové plášte</i>	314
7.3.4.3	<i>Styk medzi veľkým priemerom kužela a valcom bez zaoblenia</i>	314
7.3.4.4	<i>Styk medzi veľkým priemerom kužela a valcom so zaoblením</i>	316
7.3.4.5	<i>Styk medzi malým priemerom kužela a valcom</i>	318
7.3.4.6	<i>Šikmé kužele</i>	319
7.4	ŠKRUPINY ZAŤAŽENÉ VONKAJŠÍM TLAKOM	319
7.4.1	Špecifické termíny, definície, symboly a skratky	319
7.4.2	Všeobecné poznámky	322
7.4.3	Valcové plášte	323
7.4.3.1	<i>Hranice kruhovitosti</i>	323
7.4.3.2	<i>Nevystužené valce</i>	323
7.4.3.3	<i>Vystužené valce</i>	327
7.4.3.3.1	<i>Nevystužená dĺžka</i>	327
7.4.3.3.2	<i>Navrhovanie výstuh</i>	329
7.4.3.3.3	<i>Zošúverenie medzi výstuhami</i>	329
7.4.3.3.4	<i>Vyhrievacie/ochladzovacie kanály</i>	331



7.4.3.3.5	Navrhovanie ľahkých výstuh	331
7.4.3.3.6	Navrhovanie masívnych výstuh	334
7.4.3.3.7	Zošúverenie výstuhy	335
7.4.4	Kuželový plášť	338
7.4.4.1	Všeobecné poznámky, dodatočné označenia špecifické pre kužele	338
7.4.4.2	Zošúverenie medzi výstuhami	339
7.4.4.3	Celkové zošúverenie kuželového plášťa a rozstup výstuh	340
7.4.4.4	Priesečníky kužela a valca	342
7.4.5	Guľové plášte	343
7.4.6	Dná nádob	343
7.4.6.1	Polguľové dná	343
7.4.6.2	Torosférické dná	343
7.4.6.3	Eliptické dná	344
<b>8</b>	<b>RIEŠENIE VYBRANÝCH ÚLOH PRAXE Z OBLASTI TLAKOVÝCH NÁDOB</b>	<b>345</b>
8.1	ANALÝZA PRÍČIN HAVÁRIE AKUMULAČNEJ NÁDRŽE	345
8.1.1	Charakteristika nádrže a opis jej stavu po havárii	345
8.1.2	Stanovenie postupu riešenia	349
8.1.3	Vplyv imperfekcií konštrukcie nádrže na napätosť	350
8.1.4	Pevnostný výpočet plášťa a dna nádoby	352
8.1.5	Posúdenie stability strechy akumuláčnej nádrže	355
8.1.6	Experimentálna analýza napätových pomerov plášťa a strechy neporušenej nádrže	364
8.1.7	Záveru vyplývajúce z predchádzajúcej analýzy	367
8.2	ANALÝZA NAPÄTOSTI V TELESE TRANSPORTNÉHO KONTAJNERA	368
8.2.1	Stručný opis transportného kontajnera a jeho modelu	368
8.2.2	Výpočtové overenie pevnosti kontajnera pri namáhaní vnútorným pretlakom	369
8.2.3	Experimentálne overenie pevnosti kontajnera	371
8.2.3.1	Skúška vnútorným pretlakom	371
8.2.3.2	Skúška vonkajším pretlakom	374
8.2.4	Záveru vyplývajúce z predchádzajúcej analýzy	379
<b>9</b>	<b>LITERATÚRA</b>	<b>381</b>