

OBSAH

OBSAH	3
PREDHOVOR	9
1. ÚVOD	11
1.1. PREDMET, CIELE	11
1.2. ZAŤAŽUJÚCE ÚČINKY	14
1.3. HISTORICKÝ PREHĽAD VÝVOJA	15
1.4. POUŽITÉ JEDNOTKY	16
1.4.1. Základné jednotky	17
1.4.2. Odvozené jednotky	17
1.4.3. Násobky a diely jednotiek	17
1.5. DRUHY NAMÁHANIA A METÓDA MYSLENÉHO REZU	17
2. NAMÁHANIE ŤAHOM, RESP. TLAKOM	21
2.1. DEFORMÁCIA A NAPÄTOSŤ PRI ŤAHU, RESP. TLAKU	21
2.2. ŤAHOVÁ, RESP. TLAKOVÁ SKÚŠKA MATERIÁLU	22
2.2.1. Mechanické vlastnosti materiálu určené ťahovou skúškou	23
2.3. POMERNÁ DEFORMÁCIA PRI ŤAHU, RESP. TLAKU	27
2.4. VPLYV ZMENY TEPLoty NA DEFORMÁCIU PRÚTA	28
2.5. PRIEČNA POMERNÁ DEFORMÁCIA	28
2.6. PEVNOSTNÁ KONTROLA A DIMENZOVANIE PRÚTOV NAMÁHANÝCH ŤAHOM A TLAKOM	29
2.6.1. Metóda dovolených napätí	30
2.6.2. Metóda dovolených zaťažení	31
2.6.3. Metóda medzných stavov	32
2.7. NAMÁHANIE ŤAHOM, RESP. TLAKOM SO ZRETEL'OM NA SILY VLASTNEJ TIAŽE	33
2.7.1. Prizmatický prút	33
2.7.2. Prút konštantnej pevnosti v ťahu, resp. tlaku	34
2.7.3. Prút odstupňovaného prierezu	35
2.8. STATICKY NEURČITÉ ÚLOHY PRI ŤAHU, RESP. TLAKU	37
3. NAPÄTOSŤ A DEFORMÁCIA A ICH VZÁJOMNÉ SÚVISLOSTI	43
3.1. NAPÄTOSŤ V BODE TELESA A DRUHY NAPÄTOSTI	43
3.2. NAPÄTOSŤ PRIAMKOVÁ – JEDNOOSOVÁ	44
3.2.1. Združené šmykové napätie	45

3.3. NAPÄTOSŤ ROVINNÁ – DVOJOOSOVÁ	46
3.3.1. Hlavné normálové napätia	48
3.3.2. Maximálne šmykové napätia	50
3.3.3. Mohrova kružnica napätosti	51
3.4. PRIESTOROVÁ NAPÄTOSŤ	53
3.4.1. Hlavné normálové napätie	53
3.4.2. Maximálne šmykové napätia	55
3.4.3. Napätosť v šikmej rovine	56
3.4.4. Oktaedrické napätia	57
3.5. DEFORMÁCIA V BODE TELESA	57
3.5.1. Hlavné pomerné deformácie a pomerné predĺženie v ľubovoľnom smere	57
3.5.2. Analógia medzi závislosťami pre napätie a deformáciu v bode	59
3.6. ZOVŠEOBECNENÝ HOOKEOV ZÁKON	60
3.7. POMERNÁ ZMENA OBJEMU PRI VIACOSOVEJ NAPÄTOSTI	61
3.8. ANALÝZA NAPÄTOSTI PRI ČISTOM ŠMYKU	62
3.9. HOOKEOV ZÁKON PRE ČISTÝ ŠMYK	63
4. POTENCIÁLNA ENERGIA NAPÄTOSTI	65
4.1. POTENCIÁLNA ENERGIA NAPÄTOSTI A OBJEMOVÁ HUSTOTA DEFORMAČNEJ ENERGIE PRI ŤAHU A TLAKU	65
4.2. POTENCIÁLNA ENERGIA NAPÄTOSTI PRI ČISTOM ŠMYKU	66
4.3. MERNÁ ENERGIA NAPÄTOSTI (OBJEMOVÁ HUSTOTA DEFORMAČNEJ ENERGIE) PRI PRIESTOROVEJ NAPÄTOSTI	67
4.4. MERNÁ ENERGIA NAPÄTOSTI PRE ZMENU TVARU A ZMENU OBJEMU	67
5. TEÓRIE PEVNOSTI	69
5.1. NEBEZPEČNÝ STAV NAMÁHANIA PRI PRIESTOROVEJ NAPÄTOSTI	69
5.2. RANKINOVA TEÓRIA MAXIMÁLNYCH NORMÁLOVÝCH NAPÄTÍ	69
5.3. SAINT-VÉNANTOVA TEÓRIA MAXIMÁLNYCH POMERNÝCH PREDĹŽENÍ	70
5.4. GUESTOVA TEÓRIA MAXIMÁLNYCH ŠMYKOVÝCH NAPÄTÍ	71
5.5. BELTRAMIHO TEÓRIA ENERGIE NAPÄTOSTI	71

5.6. HUBER-MISES-HENCKYOVA TEÓRIA ENERGIE NAPÄTOSTI ZMENY TVARU	72
5.7. MOHROVA TEÓRIA PEVNOSTI	73
5.8. GEOMETRICKÉ VYJADRENIE TEÓRIE PEVNOSTI	74
5.9. POUŽITIE TEÓRIE PEVNOSTI PRI VÝPOČTOCH	74
6. VÝPOČET SPOJOVACÍCH ELEMENTOV NAMÁHANÝCH STRIHM ..	75
6.1. NITOVANÉ SPOJE	75
6.2. SKRUTKOVANÉ SPOJE	81
6.3. ZVÁRANÉ SPOJE	81
7. GEOMETRICKÉ CHARAKTERISTIKY PRIEREZOVÝCH PLÔCH	87
7.1. STATICKÉ MOMENTY PRIEREZU (LINEÁRNE MOMENTY PRIEREZU). SÚRADNICE ŤAŽISKA PLOCHY	87
7.2. KVADRATICKÉ MOMENTY PRIEREZU (OSOVÉ KVADRATICKÉ MOMENTY PRIEREZU)	88
7.3. KVADRATICKÉ MOMENTY PRIEREZU K ROVNOBEŽNÝM OSIAM...	89
7.4. KVADRATICKÉ MOMENTY PRIEREZU K POOTOČENÝM OSIAM	90
7.4.1. Určenie smerov a veľkostí hlavných osových kvadratických momentov prierezu	91
7.4.2. Grafické určenie kvadratických momentov prierezu k pootočeným osiam	92
7.5. KVADRATICKÉ POLOMERY PRIEREZU A ELIPSA OSOVÝCH KVADRATICKÝCH MOMENTOV PRIEREZU	93
7.6. PRIEREZOVÝ MODUL (MODUL PRIEREZU) V OHYBE A V KRUTE .	94
7.7. POSTUP VÝPOČTU GEOMETRICKÝCH CHARAKTERISTÍK	95
8. KRÚTENIE HRIADEĽOV KRUHOVÉHO A MEDZIKRUHOVÉHO PRIEREZU	99
8.1. DEFINÍCIA ČISTÉHO KRUTU A VÝPOČET KRÚTIACICH MOMENTOV	99
8.2. NAPÄTIA A DEFORMÁCIE PRI KRÚTENÍ HRIADEĽA KRUHOVÉHO A MEDZIKRUHOVÉHO PRIEREZU	101
8.3. ANALÝZA NAPÄTOSTI PRI KRÚTENÍ A HLAVNÉ NORMÁLOVÉ NAPÄTIA	103
8.4. RIEŠENIE STATICKY NEURČITÝCH ÚLOH PRI KRÚTENÍ	104

8.5. POTENCIÁLNA ENERGIA NAPÄTOSTI PRI KRÚTENÍ HRIADEĽA KRUHOVÉHO PRIEREZU	106
9. ROVINNÝ OHYB PRIAMÝCH NOSNÍKOV	107
9.1. DEFINÍCIA ROVINNÉHO OHYBU	107
9.2. VNÚTORNÉ SILOVÉ VELIČINY PRI OHYBE A DIFERENCIÁLNE ZÁVISLOSTI MEDZI NIMI	107
9.3. NORMÁLOVÉ NAPÄTIE PRI ROVINNOM OHYBE	109
9.4. NOSNÍK KONŠTANTNEJ PEVNOSTI	111
9.5. ŠMYKOVÉ NAPÄTIE PRI OHYBE	113
9.5.1. Stred šmyku	115
9.6. ÚPLNÁ PEVNOSTNÁ KONTROLA	116
9.7. POTENCIÁLNA ENERGIA NAPÄTOSTI PRI ČISTOM OHYBE	120
9.8. URČENIE DEFORMÁCIÍ V NOSNÍKOCH PRI OHYBE	121
9.8.1. Diferenciálna rovnica priehybovej čiary	121
9.8.2. Určenie deformácií nosníkov metódou momentovej plochy - metóda statickej analógie	125
9.8.3. Určenie deformácií v nosníkoch premenného prierezu	128
10. ZLOŽENÉ NAMÁHANIE	133
10.1. PRIESTOROVÝ (ŠIKMÝ) OHYB	133
10.2. SÚČASNÉ PÔSOBENIE OHYBU A ŤAHU	137
10.3. EXCENTRICKÝ TLAK	137
10.3.1. Jadro prierezu	138
10.4. SÚČASNÉ PÔSOBENIE OHYBU A KRÚTENIA	140
10.5. VÝPOČET SKRUTKOVICOVÝCH VALCOVÝCH A KUŽELOVÝCH PRUŽÍN	144
11. VIRTUÁLNA PRÁCA A ENERGETICKÉ PRINCÍPY	147
11.1. PRINCÍP SUPERPOZÍCIE POSUVOV A VPLYVOVÉ ČINITELE	147
11.2. PRÁCA VONKAJŠÍCH SÍL	148
11.3. PRÁCA VNÚTORNÝCH SÍL	149
11.4. BETTIHO VETA VZÁJOMNOSTI PRÁC	150
11.5. MAXWELLOVE VETY	151
11.6. PRINCÍP VIRTUÁLNYCH PRÁC – LAGRANGEOV PRINCÍP.....	153
11.7. CASTIGLIANOVE VETY	154
11.8. MOHR – MAXWELLOVA VETA	157
11.9. STATICKÁ PODDAJNOSŤ – VPLYVOVÉ ČINITELE	159

11.9.1. Graficko – analytické riešenie integrálu súčinu dvoch funkcií	159
12. RIEŠENIE STATICKY NEURČITÝCH SÚSTAV	161
12.1. VÝPOČET STATICKY NEURČITÝCH SÚSTAV METÓDOU POROVNANIA DEFORMÁCIE	161
12.2. PRINCÍP MINIMA DEFORMAČNEJ PRÁCE - MÉNABRÉOVA VETA	163
12.3. METÓDA KÁNONICKÝCH ROVNÍC	165
12.4. SPOJITÉ NOSNÍKY NA VIACERÝCH PODPERÁCH TROJMOMENTOVÁ - CLAPEYRONOVA ROVNICA	169
13. ZAKRIVENÉ A ZALOMENÉ NOSNÍKY A RÁMY	173
13.1. ZAKRIVENÉ A ZALOMENÉ ROVINNÉ NOSNÍKY A RÁMY.....	173
13.1.1. Vnútorne silové veličiny v zakrivených a zalomených nosníkoch	173
13.1.2. Vnútorne silové veličiny v staticky neurčitých nosníkoch a rámoch ..	174
13.1.3. Veľmi zakrivené nosníky	182
13.1.3.1. Napätia vo veľmi zakrivených nosníkoch	182
13.1.3.2. Deformácie veľmi zakrivených nosníkov	185
13.1.4. Napätia a deformácie zalomených a málo zakrivených nosníkov a rámov	187
13.2. ZAKRIVENÉ A ZALOMENÉ PRIESTOROVÉ NOSNÍKY A RÁMY	191
14. ZÁKLADY EXPERIMENTÁLNEJ PRUŽNOSTI	195
14.1. PREDMET A CIELE EXPERIMENTÁLNEJ PRUŽNOSTI	195
14.2. TENZOMETRICKÉ METÓDY	196
14.2.1. Tenzometre mechanické a mechanicko-optické	197
14.2.2. Strunové tenzometre	198
14.2.3. Pneumatické tenzometre	199
14.2.4. Elektrické tenzometre	199
14.2.4.1. Indukčné snímače	200
14.2.4.2. Kapacitné snímače	200
14.2.4.3. Odporové snímače	200
14.2.5. Meranie malých zmien odporu	202
14.2.5.1. Nulová metóda	204
14.2.5.2. Výchylková metóda	204
14.2.6. Vlastnosti odporových tenzometrov	206
14.2.7. Vplyvy prevádzkových podmienok na tenzometrické merania	208

14.2.8. Postup tenzometrického merania	210
14.2.9. Určenie napätí z nameraných deformácií	210
14.2.9.1. Napätosť na povrchu zaťaženého pružného prvku	210
14.2.9.2. Určenie napätosti pri známych smeroch hlavných pomerných deformácií	212
14.2.9.3. Tenzometrická ružica	213
14.3. FOTOELASTICIMETRIA	215
14.3.1. Dvojlom svetla	217
14.3.2. Intenzita svetla za polarizátorom pri priamkovo-polarizovanom svetle	218
14.3.3. Určovanie konštanty optickej citlivosti	221
14.3.4. Určovanie napätosti v modeloch fotoelasticimetrickým meraním	222
14.3.4.1. Separácia hlavných normálových napätí pozdĺž izostaty	223
14.3.5. Priestorová fotoelasticimetria	224
14.3.7. Reflexná fotoelasticimetria	225
14.4. METÓDA MECHANICKO-OPTICKEJ INTERFERENCIE - MOIRÉ METÓDA	226
14.5. HOLOGRAFIA	228
14.6. KREHKÉ NÁTERY	230
LITERATÚRA	231