

# Obsah

|                                                                       |            |
|-----------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>1 Křivé pruty</b>                                                  | <b>5</b>   |
| 1.1 Úvod                                                              | 5          |
| 1.2 Tenké křivé pruty                                                 | 8          |
| 1.3 Průběhy posouvajících sil a ohybových momentů u křivých prutů     | 9          |
| 1.4 Vliv osových a posouvajících sil při rovinném ohybu křivých prutů | 14         |
| 1.5 Deformace střednice tenkých křivých prutů                         | 17         |
| 1.5.1 Úlohy:                                                          | 23         |
| 1.6 Staticky neurčité křivé pruty a rámy                              | 24         |
| 1.6.1 Použití silové metody                                           | 25         |
| 1.6.2 Metodika řešení úloh                                            | 27         |
| 1.6.3 Rámové konstrukce křivých prutů                                 | 35         |
| 1.6.4 Úlohy:                                                          | 42         |
| <b>2 Základy technické plasticity</b>                                 | <b>47</b>  |
| 2.1 Úvod                                                              | 47         |
| 2.2 Tah a tlak                                                        | 50         |
| 2.3 Ohyb přímých nosníků v oblasti plastických deformací              | 61         |
| 2.4 Krut v pružno-plastické oblasti                                   | 80         |
| 2.5 Podmínky plasticity při víceosé napjatosti                        | 87         |
| 2.6 Teorie plasticity                                                 | 89         |
| 2.7 Silnostěnná nádoba v oblasti plastických deformací                | 90         |
| 2.7.1 Silnostěnná nádoba v plastickém stavu                           | 91         |
| 2.7.2 Silnostěnná nádoba v pružno-plastickém stavu                    | 92         |
| 2.8 Tenký volný rotující kotouč stálé tloušťky                        | 96         |
| <b>3 Extrémní podmínky zatěžování</b>                                 | <b>103</b> |
| 3.1 Teplotní napětí v ocelových konstrukcích                          | 103        |
| 3.2 Tečení konstrukcí za vysokých teplot                              | 110        |
| 3.2.1 Prosté tečení a relaxace                                        | 111        |
| 3.2.2 Základní rovnice tečení jednoosé napjatosti                     | 113        |
| 3.2.3 Teorie tečení                                                   | 115        |
| 3.2.4 Řešení některých jednoduchých úloh při tečení                   | 116        |
| <b>4 Křehký lom</b>                                                   | <b>129</b> |
| 4.1 Lomová houževnatost                                               | 130        |
| 4.2 Stav napjatosti v okolí čela trhliny                              | 132        |
| 4.2.1 Plastická zóna v okolí čela trhliny                             | 133        |

|          |                                                                         |            |
|----------|-------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.3      | Vazkost porušování součástí . . . . .                                   | 136        |
| 4.4      | Experimentální stanovení lomové houževnatosti . . . . .                 | 137        |
| 4.5      | Růst trhlin při cyklickém namáhání . . . . .                            | 138        |
| 4.6      | Růst trhlin při korozi pod napětím . . . . .                            | 141        |
| 4.7      | Posouzení odolnosti konstrukce proti lomu . . . . .                     | 142        |
| <b>5</b> | <b>Stabilita přímých prutů . . . . .</b>                                | <b>147</b> |
| 5.1      | Úvod . . . . .                                                          | 147        |
| 5.2      | Eulerova kritická síla . . . . .                                        | 148        |
| 5.2.1    | První případ vzpěru . . . . .                                           | 148        |
| 5.2.2    | Druhý případ vzpěru . . . . .                                           | 151        |
| 5.2.3    | Třetí případ vzpěru . . . . .                                           | 153        |
| 5.2.4    | Čtvrtý případ vzpěru . . . . .                                          | 155        |
| 5.3      | Podmínka stability ve vzpěru . . . . .                                  | 157        |
| 5.4      | Výpočet kritické síly v oblasti plastických deformací . . . . .         | 159        |
| 5.4.1    | Zavedení redukovaného modulu pružnosti . . . . .                        | 159        |
| 5.4.2    | Řešení podle Tetmajera . . . . .                                        | 160        |
| 5.4.3    | Součinitel vzpěrnosti . . . . .                                         | 161        |
| 5.5      | Přibližné řešení kritické síly . . . . .                                | 164        |
| 5.5.1    | Rayleighova energetická metoda . . . . .                                | 164        |
| 5.5.2    | Metoda postupných aproximací . . . . .                                  | 166        |
| 5.6      | Neprizmatické vzpěry . . . . .                                          | 169        |
| 5.6.1    | Symetrická vzpěra . . . . .                                             | 169        |
| <b>6</b> | <b>Kombinace ohybu a tlaku . . . . .</b>                                | <b>173</b> |
| 6.1      | Úvod . . . . .                                                          | 173        |
| 6.2      | Výpočet ohybového momentu . . . . .                                     | 174        |
| 6.3      | Výpočet průhybu . . . . .                                               | 175        |
| 6.4      | Příklady kombinací ohybu a tlaku . . . . .                              | 176        |
| 6.5      | Energetická metoda – přibližné řešení kombinace ohybu a tlaku . . . . . | 181        |
| <b>7</b> | <b>Variační principy v mechanice poddajných těles . . . . .</b>         | <b>187</b> |
| 7.1      | Princip virtuálních prací pro prutové soustavy . . . . .                | 189        |
| 7.1.1    | Model prutové soustavy . . . . .                                        | 189        |
| 7.1.2    | Řešení přímé úlohy prostředky vektorové mechaniky . . . . .             | 193        |
| 7.1.3    | Princip virtuálních prací pro prutové soustavy . . . . .                | 196        |
| 7.1.4    | Energetická interpretace principu virtuálních prací. . . . .            | 203        |
| 7.2      | Princip virtuálních prací pro silnostěnné nádoby . . . . .              | 204        |
| 7.2.1    | Model silnostěnné nádoby . . . . .                                      | 204        |
| 7.2.2    | Princip virtuálních prací pro silnostěnné nádoby . . . . .              | 207        |
| 7.2.3    | Energetická interpretace principu virtuálních prací. . . . .            | 210        |
| 7.3      | Obecná formulace principu virtuálních prací . . . . .                   | 212        |
| 7.3.1    | Základní pojmy matematické teorie pružnosti . . . . .                   | 212        |
| 7.3.2    | Princip virtuálních prací pro obecná tělesa . . . . .                   | 216        |
| 7.3.3    | Kinematicky přípustné pole posuvů . . . . .                             | 217        |
| 7.3.4    | Princip virtuálních prací . . . . .                                     | 217        |
| 7.3.5    | Princip virtuálních posuvů . . . . .                                    | 217        |

|          |                                                                                                      |            |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 7.3.6    | Princip virtuálních napětí . . . . .                                                                 | 218        |
| 7.3.7    | Energetická interpretace principu virtuálních prací . . . . .                                        | 219        |
| 7.4      | Principy minima energie v mechanice . . . . .                                                        | 220        |
| 7.4.1    | Princip minima celkové potenciální energie – úvod . . . . .                                          | 220        |
| 7.4.2    | Princip minima komplementární potenciální energie – úvod . . . . .                                   | 222        |
| 7.4.3    | Fyzikální interpretace celkové a komplementární potenciální energie . . . . .                        | 224        |
| 7.4.4    | Obecná formulace principu minima celkové a komplementární po-<br>tenciální energie . . . . .         | 226        |
| 7.5      | Přibližné řešení variační formulace úlohy pružnosti . . . . .                                        | 227        |
| 7.5.1    | Vektorové prostory . . . . .                                                                         | 228        |
| 7.5.2    | Ritzova metoda . . . . .                                                                             | 232        |
| 7.5.3    | Příklad užití Ritzovy metody . . . . .                                                               | 233        |
| <b>8</b> | <b>Experimentální pružnost</b> . . . . .                                                             | <b>247</b> |
| 8.1      | Význam a postavení experimentálních metod v pružnosti a pevnosti . . . . .                           | 247        |
| 8.2      | Přehled experimentálních metod v pružnosti a pevnosti . . . . .                                      | 248        |
| 8.3      | Tenzometrie . . . . .                                                                                | 249        |
| 8.3.1    | Mechanické tenzometry . . . . .                                                                      | 251        |
| 8.3.2    | Akustické tenzometry . . . . .                                                                       | 252        |
| 8.3.3    | Pneumatické tenzometry . . . . .                                                                     | 254        |
| 8.3.4    | Elektrické tenzometry . . . . .                                                                      | 254        |
| 8.3.5    | Výpočet napětí z naměřených poměrných prodloužení . . . . .                                          | 272        |
| 8.3.6    | Oblasti použití tenzometrie . . . . .                                                                | 276        |
| 8.4      | Fotoelasticimetrie . . . . .                                                                         | 277        |
| 8.4.1    | Aplikace rovinné fotoelasticimetrie na prostorové úlohy a na měření<br>skutečných součástí . . . . . | 283        |
| 8.4.2    | Vyhodnocení napjatosti z fotoelasticimetrického měření . . . . .                                     | 285        |
| 8.5      | Optické metody pružnosti a pevnosti . . . . .                                                        | 286        |
| 8.5.1    | Metoda moaré . . . . .                                                                               | 287        |
| 8.6      | Ostatní experimentální metody . . . . .                                                              | 289        |
| 8.6.1    | Metoda sítí a otisku . . . . .                                                                       | 289        |
| 8.6.2    | Křehké laky . . . . .                                                                                | 290        |
| 8.6.3    | Rentgenografické měření napjatosti . . . . .                                                         | 292        |
| 8.6.4    | Analogové metody . . . . .                                                                           | 294        |
| 8.7      | Obecné zásady experimentálního výzkumu . . . . .                                                     | 294        |

#### Autoři kapitol:

- 1 Prof. Ing. František **Valenta**, CSc.
- 2 Doc. Ing. Zdeněk **Kuliš**, Csc.
- 3 Doc. Ing. Svatava **Konvičková**, CSc.
- 4 Prof. Ing. František **Valenta**, CSc.
- 5 Prof. Ing. František **Valenta**, CSc.
- 6 Prof. Ing. František **Valenta**, CSc.
- 7 Ing. Miroslav **Španiel**, CSc.
- 8 Prof. Ing. Stanislav **Holý**, CSc.