# Obsah

**Předmluva** 11

**Použitá symbolika** 13

**I. Deformace prutových konstrukcí** 19

**1. Přetvoření rovinných staticky určitých prutových konstrukcí** 21

1.1. Přetvoření rovinných plnostěnných nosníků z principu virtuálních prací . . 22
1.1.1. Pojem virtuálního přetvoření, zatížení a virtuální práce . . . . . 23
1.1.2. Virtuální práce vnějších sil . . . . . 24
1.1.3. Virtuální práce vnitřních sil . . . . . 25
1.1.4. Princip virtuálních prací . . . . . 28
1.1.5. Bettiho věta o vzájemnosti virtuálních prací . . . . . 29
1.1.6. Maxwellova věta . . . . . 30
1.1.7. Výpočet posunutí a pootočení průřezu nosníku. Metoda jednotkových sil . . . . . 31
1.1.8. Vereščaginovo pravidlo . . . . . 33
1.1.9. Ilustrující příklady . . . . . 34
1.2. Ohybová čára plnostěnného nosníku . . . . . 42
1.2.1. Odvození diferenciální rovnice ohybové čáry . . . . . 42
1.2.2. Integrace diferenciální rovnice ohybové čáry . . . . . 44
1.2.3. Tabelární uspořádání vztahů pro deformační veličiny nosníku . . 47
1.2.4. Ilustrující příklady . . . . . 47
1.3. Mohrova metoda . . . . . 56
1.4. Příčinkové čáry deformačních veličin plnostěnného nosníku . . . . . 59
1.4.1. Příčinková čára posunutí průřezu. . . . . 59
1.4.2. Příčinková čára pootočení průřezu . . . . . 60
1.4.3. Rovnice příčinkových čar deformačních veličin prostého nosníku 60
1.5. Přetvoření rovinných příhradových nosníků . . . . . 62
1.5.1. Výpočet posunutí styčníku metodou jednotkových sil . . . . . 63

1.5.2. Ohybová čára příhradového nosníku . . . . . 66

**2. Přetvoření prostorových staticky určitých prutových konstrukcí 69**

2.1. Přetvoření prostorových plnostěnných nosníků . . . . . 69
2.1.1. Výpočet posunutí a pootočení průřezu nosníku metodou jednotkových sil . . . . . 69
2.2. Přetvoření prostorových kloubových prutových soustav . . . . . 73
2.2.1. Výpočet posunutí styčníku metodou jednotkových sil . . . . . 73

**II. Staticky neurčité prutové konstrukce. Silová metoda 77**

**3. Úvod do řešení rovinných staticky neurčitých prutových konstrukcí 79**

3.1. Metody řešení staticky neurčitých konstrukcí . . . . . 79
3.2. Rovinná staticky neurčitá prutová soustava . . . . . 80
3.2.1. Statická určitost, přeurčitost a neurčitost . . . . . 80
3.2.2. Stupeň statické neurčitosti . . . . . 81
3.3. Rovinná staticky neurčitá kloubová prutová soustava . . . . . 82
3.3.1. Statická určitost, přeurčitost a neurčitost . . . . . 82
3.3.2. Stupeň statické neurčitosti . . . . . 83
3.4. Podstata silové metody . . . . . 84

**4. Jednoduchý staticky neurčitý plnostěnný nosník 87**

4.1. Oboustranně dokonale vetknutý nosník . . . . . 87
4.2. Další případy podepření jednoduchého staticky neurčitého nosníku . . . . . 94
4.2.1. Jednostranně vetknutý nosník s pevným kloubem . . . . . 94
4.2.2. Jednostranně vetknutý nosník s posuvným kloubem . . . . . 96
4.2.3. Vetknutý nosník s převislým koncem . . . . . 97
4.2.4. Dvojkloubový nosník . . . . . 98
4.3. Vetknutý nosník s náběhy . . . . . 98
4.4. Deformační zatížení vetknutého nosníku . . . . . 102
4.4.1. Rovnoměrná změna teploty . . . . . 102
4.4.2. Nerovnoměrná změna teploty . . . . . 103
4.4.3. Popuštění podpor nosníku . . . . . 104
4.5. Příčinkové čáry vetknutého nosníku . . . . . 107
4.5.1. Oboustranně dokonale vetknutý nosník . . . . . 107
4.5.2. Jednostranně dokonale vetknutý nosník . . . . . 111

**5. Spojitý plnostěnný nosník 115**

5.1. Základní pojmy . . . . . 115
5.2. Řešení spojitého nosníku metodou třímomentových rovnic . . . . . 116

5.2.1. Odvození třímomentové rovnice . . . . . 116
5.2.2. Zvláštní tvary třímomentových rovnic . . . . . 119
5.3. Stanovení statických veličin spojitého nosníku z podporových momentů . 121
5.3.1. Posouvající síla $V_x$ . . . . . 121
5.3.2. Ohybový moment $M_x$ . . . . . 122
5.3.3. Podporová reakce $R_b$ posuvného kloubu $b$ . . . . . 122
5.4. Souměrný spojitý nosník . . . . . 122
5.4.1. Pojem souměrného spojitého nosníku . . . . . 122
5.4.2. Symetrické a antimetrické zatížení . . . . . 123
5.4.3. Symetrické a antimetrické veličiny . . . . . 123
5.4.4. Využití symetrie spojitého nosníku . . . . . 125
5.5. Numerické příklady . . . . . 126
5.6. Pohyblivé zatížení spojitého nosníku . . . . . 135
5.6.1. Příčinkové čáry statických veličin . . . . . 135
5.6.2. Příčinkové čáry deformačních veličin . . . . . 142
5.7. Spojitý nosník na pružných podporách . . . . . 143
5.7.1. Odvození pětimomentové rovnice . . . . . 143

**6. Rovinný rám 149**
6.1. Základní pojmy . . . . . 149
6.2. Rozdělení rovinných rámů . . . . . 150
6.3. Metody řešení rovinných rámů . . . . . 150
6.4. Silová metoda . . . . . 151
6.4.1. Podstata metody . . . . . 151
6.4.2. Jednoduchý uzavřený rám . . . . . 160
6.4.3. Vliv změny teploty rovinného rámu . . . . . 162
6.4.4. Vliv popuštění podpor rámu . . . . . 166
6.4.5. Souměrný rovinný rám . . . . . 169

**7. Rovinný oblouk 173**
7.1. Základní pojmy a předpoklady . . . . . 173
7.1.1. Střednice rovinného oblouku . . . . . 174
7.1.2. Proměnnost průřezu oblouku . . . . . 175
7.1.3. Stupeň statické neurčitosti oblouku . . . . . 175
7.2. Vnitřní síly a deformace prostého zakřiveného nosníku . . . . . 176
7.3. Oboustranně vetknutý oblouk . . . . . 178
7.3.1. Rovnoměrná a nerovnoměrná změna teploty oblouku . . . . . 180
7.3.2. Popuštění podpor oblouku . . . . . 181
7.3.3. Numerické příklady . . . . . 181
7.4. Dvojkloubový oblouk . . . . . 184

**8. Rovinný staticky neurčitý příhradový nosník 191**
8.1. Příhradový nosník zevně staticky neurčitý . . . . . 191

8.1.1. Vliv změny teploty . . . . . 194
8.1.2. Vliv popuštění podpor . . . . . 194
8.1.3. Volba průřezových ploch prutů . . . . . 194
8.2. Příhradový nosník vnitřně staticky neurčitý . . . . . 197
8.3. Příhradový nosník zevně i vnitřně staticky neurčitý . . . . . 200
8.4. Příčinkové čáry staticky neurčitých příhradových nosníků . . . . . 202

**9. Prostorový rám 205**
9.1. Základní pojmy . . . . . 205
9.2. Stupeň statické neurčitosti . . . . . 206
9.3. Jednoduchý staticky neurčitý přímý nosník s prostorovým zatížením . . . 207
9.3.1. Oboustranně vetknutý nosník s krutovým zatížením . . . . . 208
9.4. Jednoduchý prostorový rám . . . . . 210
9.5. Příčně zatížený rovinný rám . . . . . 214
9.6. Rošt . . . . . 218
9.6.1. Statický model roštu . . . . . 219

**III. Deformační metoda 223**

**10. Úvod do řešení rovinných prutových konstrukcí deformační metodou 225**
10.1. Výpočtový model rovinné prutové soustavy . . . . . 225
10.2. Podstata deformační metody . . . . . 229
10.2.1. Obecná deformační metoda . . . . . 229
10.2.2. Zjednodušená deformační metoda . . . . . 233

**11. Obecná deformační metoda pro rovinné prutové konstrukce 237**
11.1. Princip obecné deformační metody . . . . . 237
11.1.1. Uzlové účinky . . . . . 238
11.1.2. Podmínky rovnováhy uzlů . . . . . 239
11.1.3. Vyjádření koncových sil pomocí parametrů deformace . . . . . 241
11.1.4. Globální vektory prutové soustavy . . . . . 245
11.1.5. Jiná varianta globálních vektorů . . . . . 246
11.2. Analýza prutu . . . . . 246
11.2.1. Analýza přímého prutu . . . . . 249
11.2.2. Prut oboustranně monoliticky připojený . . . . . 250
11.2.3. Prut jednostranně kloubově připojený . . . . . 255
11.2.4. Prut oboustranně kloubově připojený . . . . . 259
11.2.5. Prut konzolový . . . . . 260
11.2.6. Prut konstantního průřezu . . . . . 261
11.2.7. Prut s přímkovým náběhem . . . . . 264

11.2.8. Výpočet koncových sil a průběhy vnitřních sil . . . . . 266
11.2.9. Transformace do globálního souřadnicového systému . . . . . 266
11.2.10. Vliv nerovnoměrné změny teploty . . . . . 272
11.2.11. Dané nepružné přemístění podpor . . . . . 275
11.2.12. Analýza zakřiveného prutu . . . . . 276
11.3. Analýza prutové soustavy . . . . . 280
11.3.1. Globální objekty prutu . . . . . 280
11.3.2. Soustava rovnic . . . . . 281
11.3.3. Lokalizace a sestavení soustavy rovnic . . . . . 282
11.3.4. Dokončení řešení prutů . . . . . 284
11.3.5. Výpočet reakcí a kontrola řešení . . . . . 285
11.3.6. Jiný tvar globálních objektů prutu. . . . . 286
11.4. Numerické příklady . . . . . 288
11.4.1. Postup řešení prutové soustavy obecnou deformační metodou . . 288
11.4.2. Kosoúhlý rám . . . . . 290
11.4.3. Pravoúhlý rám. . . . . 300
11.4.4. Spojitý nosník . . . . . 304
11.4.5. Konzolový nosník . . . . . 307
11.4.6. Nosník s vnitřním kloubem . . . . . 309
11.4.7. Nosník s přímkovým náběhem . . . . . 312
11.4.8. Deformační zatížení rámu. . . . . 315
11.4.9. Příhradový nosník . . . . . 319

**12. Zjednodušená deformační metoda pro rovinné prutové konstrukce 325**

12.1. Základní deformačně určitá soustava . . . . . 325
12.2. Koncové účinky prutu. Znaménková konvence. . . . . 327
12.3. Koncové momenty oboustranně upnutého prutu . . . . . 328
12.4. Koncové momenty kloubově připojeného prutu . . . . . 332
12.5. Prut stálého průřezu . . . . . 335
12.6. Vnitřní síly přímého prutu. . . . . 336
12.6.1. Ohybový moment $M_x$ . . . . . 336
12.6.2. Posouvající síla $V_x$. . . . . 336
12.6.3. Normálová síla $N_x$. . . . . 337
12.7. Styčníková rovnice . . . . . 339
12.8. Patrová rovnice . . . . . 340
12.8.1. Základní tvary patrových rovnic . . . . . 340
12.8.2. Některé další tvary patrových rovnic . . . . . 344
12.9. Postup řešení rovinného rámu zjednodušenou deformační metodou . . . . 345
12.9.1. Ilustrující numerický příklad . . . . . 346
12.10. Symetrické rámové konstrukce . . . . . 356
12.10.1. Symetrické zatížení rámu . . . . . 356
12.10.2. Antimetrické zatížení rámu . . . . . 358

UKF

12.10.3. Výsledné účinky od obecného zatížení rámu . . . . . 359
12.11. Vliv změny teploty . . . . . 359
12.11.1. Rovnoměrná změna teploty . . . . . 359
12.11.2. Nerovnoměrná změna teploty . . . . . 365
12.12. Vliv daných nepružných přemístění podpor . . . . . 368
12.13. Vliv pružně poddajných připojení prutů . . . . . 371
12.14. Numerické příklady . . . . . 373

**13. Obecná deformační metoda pro prostorové prutové konstrukce 379**
13.1. Výpočtový model . . . . . 379
13.2. Přímý prut oboustranně monoliticky připojený . . . . . 381
13.3. Výpočet koncových sil . . . . . 385
13.4. Transformace do globálního souřadnicového systému . . . . . 385
13.5. Prut oboustranně kloubově připojený . . . . . 388
13.6. Prut roštového typu . . . . . 388

**IV. Závěrečná část 393**

**14. Tabulky 395**

**Použitá literatura 421**

**Rejstřík 425**