

# OBSAH

	PŘEDMLUVA K 5. VYDÁNÍ . . . . .	13
1	METODIKA KONSTRUOVÁNÍ . . . . . <i>Prof. Ing. Dr. Alfred Bolek</i>	15
1.1	Požadavky na konstruktéra . . . . .	17
1.2	Myšlenkové pochody při konstruování . . . . .	20
1.3	Informace pro konstruktéry . . . . .	22
1.4	Klasický způsob konstruování . . . . .	23
1.5	Konstruování . . . . .	28
1.6	Hodnocení konstrukce . . . . .	29
1.6.1	Jednobodové hodnocení . . . . .	29
1.6.2	Dvojbodové hodnocení . . . . .	29
1.6.3	Hodnotová analýza . . . . .	33
1.6.4	Výroba a montáž . . . . .	36
1.6.5	Exploatace . . . . .	36
1.7	Systémový způsob konstruování . . . . .	36
1.8	Racionalizační prostředky při konstruování . . . . .	43
2	TECHNICKÁ NORMALIZACE . . . . . <i>Prof. Ing. Karel Švejda</i>	45
2.1	Technické normy . . . . .	45
2.2	Vyvolená čísla a normální rozměry . . . . .	49
2.3	Lícování . . . . .	54
2.3.1	Obecné zásady . . . . .	54
2.3.2	Tolerování délkových rozměrů . . . . .	55
2.3.3	Tolerování úhlových rozměrů . . . . .	65
2.3.4	Mezní úchytky netolerovaných rozměrů . . . . .	66
2.4	Tolerování tvaru a polohy . . . . .	69
2.4.1	Tolerance a úchytky tvaru . . . . .	71
2.4.2	Tolerance a úchytky polohy . . . . .	75
2.4.3	Souhrnné tolerance a úchytky tvaru a polohy . . . . .	85
2.4.4	Závislé tolerance . . . . .	85
2.5	Tolerance a mezní úchytky v rozměrových řetězcích . . . . .	87
2.6	Drsnost povrchu . . . . .	90
3	PEVNOSTNÍ VÝPOČTY STROJNÍCH SOUČÁSTÍ . . . . . <i>Doc. Ing. Pavel Puchmajer, CSc., prof. Ing. Jan Wanner, DrSc.</i>	100
3.1	Základní pojmy . . . . .	100

3.1.1	Vnitřní statické účinky . . . . .	101
3.1.2	Napětí . . . . .	101
3.1.3	Napjatost . . . . .	102
3.1.4	Jednoosá (přímková) napjatost . . . . .	102
3.1.5	Dvouosá (rovinná) napjatost . . . . .	104
3.1.6	Trojosá (prostorová) napjatost . . . . .	105
3.1.7	Pracovní diagram materiálu . . . . .	109
3.1.8	Hookův zákon pro smyk . . . . .	113
3.1.9	Přetvoření při jednoosé napjatosti . . . . .	114
3.1.10	Rozšířený Hookův zákon . . . . .	
3.1.11	Poměrná objemová změna . . . . .	117
3.1.12	Měrná deformační energie . . . . .	117
3.1.13	Pevnostní podmínky při statickém namáhání . . . . .	118
3.2	Pevnostní hypotézy . . . . .	120
3.2.1	Prostý tah (tlak) . . . . .	123
3.2.1.1	Deformační energie při prostém tahu (tlaku) . . . . .	126
3.2.2	Prostý smyk (střih) . . . . .	126
3.2.2.1	Deformační energie při prostém smyku . . . . .	128
3.2.3	Ohyb přímých prutů . . . . .	129
3.2.3.1	Kvadratické momenty ploch . . . . .	129
3.2.3.2	Kvadratické momenty k posunutým osám . . . . .	130
3.2.3.3	Kvadratické momenty k pootočeným osám . . . . .	131
3.2.3.4	Kvadratický poloměr průřezu a elipsa průřezu . . . . .	132
3.2.4	Rovinný ohyb přímých prutů . . . . .	133
3.2.4.1	Vnitřní statické účinky . . . . .	134
3.2.4.2	Průběh napětí při prostém rovinném ohybu . . . . .	136
3.2.4.3	Vliv posouvající síly při rovinném ohybu . . . . .	140
3.2.4.4	Deformace nosníku při rovinném ohybu . . . . .	141
3.2.4.5	Deformační energie při ohybu . . . . .	143
3.2.4.6	Prostorový (šikmý) ohyb . . . . .	144
3.2.5	Rovinný ohyb křivých prutů . . . . .	145
3.2.6	Volný krut přímých prutů . . . . .	146
3.2.6.1	Rozdělení smykových napětí u prutů kruhového průřezu . . . . .	146
3.2.6.2	Průřezové charakteristiky prutů nekruhového průřezu . . . . .	149
3.2.6.3	Úhlové deformace prutů . . . . .	150
3.2.6.4	Deformační energie při volném krutu . . . . .	152
3.3	Namáhání přímých prutů na vzpěr . . . . .	152
3.3.1	Kritická síla a kritické napětí přímého tlačенého prutu . . . . .	152
3.3.2	Výpočet tlačенých prutů podle ČSN . . . . .	155
3.4	Namáhání nad mezí kluzu . . . . .	157
3.4.1	Pracovní diagram . . . . .	157
3.4.2	Princip odlehčování . . . . .	158
3.4.3	Plastický stav prutu obdélníkového průřezu namáhaného na ohyb . . . . .	159
3.4.4	Plastický stav prutu kruhového průřezu namáhaného na krut . . . . .	162
3.4.5	Plastický stav víceosé napjatosti . . . . .	164

3.5	Kombinované namáhání . . . . .	164
3.6	Namáhání při proměnlivém zatížení . . . . .	168
3.6.1	Kmitavé zatížení . . . . .	169
3.6.2	Mez únavy – Wöhlerův diagram . . . . .	171
3.6.3	Haighův a Smithův diagram . . . . .	173
3.6.4	Parametry ovlivňující mez únavy . . . . .	175
3.6.4.1	Součinitel tvaru . . . . .	175
3.6.4.2	Součinitel vrubu . . . . .	183
3.6.4.3	Součinitel vrubové citlivosti . . . . .	184
3.6.4.4	Vliv velikosti součásti . . . . .	185
3.6.4.5	Vliv jakosti povrchu . . . . .	186
3.6.5	Určení bezpečnosti . . . . .	187
3.6.5.1	Jednoosá napjatost . . . . .	187
3.6.5.2	Kombinované namáhání . . . . .	190
3.7	Hlavní principy používané v pružnosti a pevnosti . . . . .	191
3.7.1	Příčinkové činitele . . . . .	192
3.7.2	Princip superpozice posuvů . . . . .	192
3.7.3	Clapeyronův princip . . . . .	192
3.7.4	Bettiho věta . . . . .	193
3.7.5	Maxwellova věta . . . . .	193
3.7.6	První Castiglianova věta . . . . .	194
3.7.7	Druhá Castiglianova věta . . . . .	194
3.7.8	Mohrův integrál . . . . .	195
3.8	Staticky neurčité soustavy . . . . .	196
3.9	Postup při pevnostním výpočtu strojních součástí . . . . .	199
4	<b>SPOJOVÁNÍ STROJNÍCH SOUČÁSTÍ</b> . . . . .	204
	<i>Prof. Ing. Josef Kochman</i>	
4.1	Šroubové a závitové spoje . . . . .	205
4.1.1	Závity . . . . .	206
4.1.1.1	Lícování závitů . . . . .	208
4.1.1.2	Lícování závitů pohybových šroubů . . . . .	213
4.1.2	Tvarové prvky šroubů a spojovacích součástí . . . . .	215
4.1.3	Spojovací šrouby . . . . .	217
4.1.3.1	Šrouby pro zvláštní účely . . . . .	222
4.1.4	Materiály šroubů a matic . . . . .	224
4.1.5	Silové poměry u šroubů s ostrým závitem . . . . .	224
4.1.5.1	Pojištění šroubového spoje proti uvolnění . . . . .	227
4.1.6	Šroubové spoje s předpětím . . . . .	229
4.1.6.1	Vliv provozní teploty na předpětí . . . . .	235
4.1.7	Pevnostní výpočet spojovacích šroubů . . . . .	236
4.1.8	Pohybové šrouby . . . . .	243
4.1.9	Konstrukční provedení matic pohybových šroubů . . . . .	245
4.2	Spojovací kolíky . . . . .	247
4.2.1	Druhy kolíků . . . . .	247

4.2.2	Použití kolíků . . . . .	249
4.2.3	Pevnostní výpočet kolíků . . . . .	251
4.3	Spojovací čepy . . . . .	254
4.3.1	Druhy čepů . . . . .	254
4.3.2	Zajištění polohy čepu v součástech . . . . .	255
4.3.3	Pevnostní výpočet čepu . . . . .	256
4.4	Klíny, pera a drážkové spoje . . . . .	258
4.4.1	Podélné spojovací klíny . . . . .	258
4.4.1.1	Druhy a použití podélných klínů . . . . .	258
4.4.1.2	Rozměry podélných klínů . . . . .	260
4.4.1.3	Úprava spojovaných součástí . . . . .	260
4.4.1.4	Namáhání klínového spoje . . . . .	261
4.4.2	Spojovací pera . . . . .	262
4.4.2.1	Druhy a použití per . . . . .	263
4.4.2.2	Rozměry pera . . . . .	265
4.4.2.3	Uložení spojů s pery . . . . .	265
4.4.2.4	Namáhání spoje s pery . . . . .	265
4.4.3	Příčné klíny . . . . .	266
4.4.3.1	Příčný klín zatížený stálou silou . . . . .	267
4.4.3.2	Příčný klín zatížený proměnlivou (střídavou) silou . . . . .	268
4.4.4	Příčné stavěcí klíny . . . . .	269
4.4.5	Drážkové spoje . . . . .	270
4.4.5.1	Druhy a provedení drážkových spojů . . . . .	270
4.4.5.2	Lícování drážkového spoje . . . . .	272
4.4.5.3	Pevnostní výpočet drážkového spoje . . . . .	272
4.4.6	Polygonové spoje . . . . .	275
4.5	Svěrné spoje . . . . .	276
4.5.1	Svěrné spoje s válcovou stykovou plochou . . . . .	277
4.5.2	Svěrné spoje s kuželovou stykovou plochou . . . . .	279
4.5.3	Svěrné spoje s kuželovým pouzdem . . . . .	281
4.5.4	Spojení součástí vzepřením . . . . .	281
4.6	Nalisované spoje . . . . .	284
4.6.1	Silové poměry v nalisovaném spoji . . . . .	284
4.6.2	Únosnost nalisovaného spoje . . . . .	288
4.6.3	Určení přesahu nalisovaného uložení . . . . .	290
4.6.4	Pevnostní výpočet nalisovaného spoje . . . . .	292
4.6.5	Lícování stykových ploch nalisovaného spoje . . . . .	293
4.6.6	Způsoby montáže nalisovaných spojů . . . . .	294
4.6.6.1	Montáž spoje lisovaného za studena . . . . .	294
4.6.6.2	Montáž spoje lisovaného za tepla . . . . .	296
4.6.7	Změny rozměrů součástí po nalisování . . . . .	297
4.6.8	Konstrukční provedení nalisovaných spojů . . . . .	298
4.7	Nýtové spoje . . . . .	301
4.7.1	Spojení nýty . . . . .	301
4.7.2	Druhy a materiál nýtů . . . . .	302

4.7.3	Provedení nýtových spojů . . . . .	304
4.7.4	Namáhání a pevnostní výpočet nýtových spojů . . . . .	307
4.7.4.1	Dimenzování prutů namáhaných na tah . . . . .	311
4.7.4.2	Dimenzování prutů namáhaných na tlak . . . . .	311
4.7.5	Spojení roznýtováním . . . . .	313
4.8	Svarové spoje . . . . .	315
	<i>Doc. Ing. Zdeněk Klepš, CSc.</i>	
4.8.1	Druhy svařování . . . . .	315
4.8.1.1	Tavné svařování . . . . .	315
4.8.1.2	Svařování tlakem . . . . .	317
4.8.2	Materiály pro svarky . . . . .	318
4.8.3	Volba přídavného materiálu . . . . .	321
4.8.4	Druhy tavných svarů a úprava stykových ploch . . . . .	323
4.8.5	Deformace a vnitřní pnutí ve svarových spojích . . . . .	330
4.8.6	Určení rozměrů svarů . . . . .	331
4.8.6.1	Výpočet tavných svarů při statickém namáhání . . . . .	336
4.8.6.2	Výpočet tavných svarů při dynamickém zatížení . . . . .	348
4.8.6.3	Výpočet děrových a žlábkových svarů . . . . .	354
4.8.6.4	Výpočet odporových svarů . . . . .	355
4.8.7	Příklady použití svařování . . . . .	357
4.8.8	Zkoušení svarů . . . . .	371
4.9	Pájené spoje . . . . .	373
	<i>Prof. Ing. Dr. Alfred Bolek</i>	
4.9.1	Měkké pájky . . . . .	374
4.9.2	Tvrdé pájky . . . . .	374
4.9.3	Použití pájených spojů . . . . .	376
4.9.4	Pevnostní výpočet pájených spojů . . . . .	378
4.10	Lepené spoje . . . . .	382
4.10.1	Druhy lepených spojů . . . . .	386
4.10.2	Pevnostní výpočet lepených spojů . . . . .	388
5	ČEPY, OSY, HŘÍDELE . . . . .	
	<i>Ing. Václav Chaloupka, CSc.</i>	
5.1	Čepy . . . . .	389
5.2	Osy . . . . .	391
5.3	Hřídele . . . . .	392
5.4	Tvar hřídele . . . . .	393
5.5	Kontrola hřídelů při proměnlivém namáhání . . . . .	399
5.6	Kontrola deformací hřídelů . . . . .	404
5.7	Kontrola kmitání hřídelů . . . . .	415
5.7.1	Ohybové kmity hřídele . . . . .	416
5.7.2	Krouživé kmitání hřídele . . . . .	419
5.7.3	Torzni kmitání hřídele . . . . .	422
5.8	Staticky neurčité hřídele . . . . .	425
5.9	Ohebné hřídele . . . . .	430

6	MAZÁNÍ A MAZIVA . . . . .	432
	<i>Prof. Ing. Štefan Glézl, DrSc.</i>	
6.1	Styk kluzných ploch z hlediska tribologie . . . . .	432
6.2	Tření a podstata mazání . . . . .	436
6.3	Jakost a opotřebení stykových ploch . . . . .	437
6.4	Charakteristiky a požadavky na maziva . . . . .	440
6.4.1	Tuhá maziva . . . . .	442
6.4.2	Plastická maziva . . . . .	443
6.4.3	Kapalná maziva . . . . .	444
6.4.4	Plynná maziva . . . . .	447
6.5	Přísady do maziv . . . . .	448
6.6	Mazací soustavy . . . . .	449
6.6.1	Mazací soustavy s kapalným mazivem . . . . .	449
6.6.2	Mazací soustavy s konzistenčními mazivy . . . . .	454
6.7	Kontrolní a ochranná zařízení . . . . .	455
7	ULOŽENÍ HŘÍDELŮ . . . . .	456
7.1	Kluzná ložiska . . . . .	456
	<i>Ing. Karel Novák a kolektiv</i>	
7.1.1	Rozdělení kluzných ložisek . . . . .	457
7.1.2	Volba druhu kluzného ložiska . . . . .	461
7.1.3	Ložiska s hydrodynamickým mazáním . . . . .	461
7.1.3.1	Radiální ložiska . . . . .	464
7.1.3.2	Hydrodynamický výpočet staticky zatíženého radiálního kruhově válcového ložiska . . . . .	464
7.1.3.3	Hydrodynamický výpočet dynamicky zatíženého radiálního kruhově válcového kluzného ložiska . . . . .	471
7.1.4	Axiální hydrodynamická ložiska . . . . .	480
7.1.4.1	Hydrodynamický výpočet axiálního ložiska s naklápěcími segmenty . . .	481
7.1.4.2	Ložiska pro vysoké kluzné rychlosti . . . . .	490
7.1.5	Hydrostatická ložiska . . . . .	495
7.1.5.1	Axiální kotoučové ložisko . . . . .	496
7.1.5.2	Axiální prstencové ložisko . . . . .	498
7.1.6	Ložiska s malými nároky na mazání a ložiska bezmazná . . . . .	499
7.1.7	Ložiskové materiály . . . . .	502
7.1.7.1	Ložiskové pánve a pouzdra . . . . .	506
7.1.7.2	Konstrukční směrnice . . . . .	507
7.1.8	Mazací soustavy . . . . .	509
7.1.9	Konstrukce ložisek . . . . .	509
7.1.9.1	Radiální kluzná ložiska . . . . .	509
7.1.9.2	Axiální ložiska . . . . .	520
7.2	Valivá ložiska . . . . .	526
	<i>Ing. Jan Fröhlich</i>	
7.2.1	Konstrukce a rozměry valivých ložisek . . . . .	526
7.2.2	Rozměry valivých ložisek . . . . .	538

7.2.3	Přesnost rozměrů a chodu . . . . .	538
7.2.4	Materiál ložisek . . . . .	539
7.2.5	Vůle valivých ložisek . . . . .	540
7.2.6	Napětí a přetvoření valivých ložisek . . . . .	542
7.2.6.1	Bodový styk . . . . .	543
7.2.6.2	Čárový přímkový styk . . . . .	545
7.2.6.3	Vzájemné posunutí ložiskových kroužků . . . . .	545
7.2.7	Dovolené namáhání valivých ložisek . . . . .	546
7.2.7.1	Statické zatížení . . . . .	546
7.2.7.2	Statické namáhání valivých ložisek . . . . .	547
7.2.8	Rozdělení sil v ložisku . . . . .	551
7.2.8.1	Jednořadá ložiska s kosouhlým stykem . . . . .	551
7.2.8.2	Kuželíková ložiska . . . . .	555
7.2.9	Trvanlivost a dynamická únosnost ložisek . . . . .	557
7.2.9.1	Trvanlivost ložisek . . . . .	557
7.2.9.2	Dynamická únosnost . . . . .	558
7.2.9.3	Ekvivalentní zatížení ložisek . . . . .	562
7.2.10	Tření valivých ložisek . . . . .	566
7.2.11	Provozní teplota ložiska . . . . .	569
7.2.12	Mezní otáčky . . . . .	569
7.2.13	Lícování ložisek . . . . .	576
7.2.14	Mazání valivých ložisek . . . . .	576
7.2.14.1	Mazání plastickým mazivem . . . . .	578
7.2.14.2	Mazání olejem . . . . .	578
7.2.14.3	Mazání pevným mazivem . . . . .	579
7.2.15	Těsnění ložisek . . . . .	580
7.2.16	Konstrukce uložení ložisek . . . . .	582
7.2.17	Montáž a demontáž valivých ložisek . . . . .	583
7.2.18	Obsluha a zkušební chod valivých ložisek . . . . .	585
8	<b>HŘÍDELOVÉ SPOJKY . . . . .</b>	<b>587</b>
	<i>Prof. Ing. Dr. Alfred Bolek</i>	
8,1	Rozdělení spojek . . . . .	587
8.1.1	Základní vztahy při navrhování spojek . . . . .	590
8.2	Určení velikosti spojky . . . . .	591
8.2.1	Určení velikosti spojky podle součinitele K . . . . .	591
8.2.2	Určení velikosti spojky z náhradní soustavy soustrojí . . . . .	599
8.2.3	Určení velikosti spojky z dynamického výpočtu soustavy . . . . .	604
8.2.3.1	Tříhmotová netlumená torzní soustava . . . . .	608
8.2.3.2	Tříhmotová tlumená torzní soustava . . . . .	611
8.2.3.3	Dvuhmotová netlumená torzní soustava . . . . .	612
8.2.3.4	Dvuhmotová tlumená torzní soustava . . . . .	615
8.3	Navrhování spojek . . . . .	623
8.3.1	Velikost spojky . . . . .	623
8.3.2	Upevnění spojek na hřídeli . . . . .	624

8.3.3	Uložení hřídelů hřídelových spojek . . . . .	625
8.3.4	Polohy os spojovaných hřídelů . . . . .	626
8.3.5	Průběhy točivých momentů . . . . .	626
8.4	Mechanické neovládané spojky . . . . .	628
8.4.1	Spojky nepružné . . . . .	628
8.4.1.1	Spojky pevné . . . . .	628
8.4.1.2	Spojky vyrovnávací . . . . .	640
8.4.2	Pružné spojky . . . . .	666
8.4.2.1	Pružné spojky s koženými články . . . . .	670
8.4.2.2	Pružné spojky s pryžovými články . . . . .	673
8.4.2.3	Pružné spojky s ocelovými pružinami . . . . .	680
8.5	Mechanické ovládané spojky . . . . .	693
8.5.1	Výsuvné spojky mechanicky řazené . . . . .	693
8.5.2	Výsuvné spojky zubové . . . . .	702
8.5.3	Výsuvné spojky třecí . . . . .	705
8.5.3.1	Obecné zásady . . . . .	705
8.5.3.2	Ztráty třením v třecích spojkách . . . . .	706
8.5.3.3	Výpočet třecích spojek . . . . .	710
8.5.3.4	Hlavní druhy zasouvacích ústrojí mechanicky ovládaných třecích spojek . . . . .	715
8.5.3.5	Konstrukční provedení třecích spojek . . . . .	715
8.5.3.6	Konstrukční provedení elektromagnetických zubových spojek . . . . .	737
8.6	Spojky pojistné . . . . .	741
8.6.1	Pojistné spojky s rozrušitelnými prvky . . . . .	741
8.6.2	Pojistné spojky vysmekávací . . . . .	743
8.6.3	Pojistné třecí prokluzovací spojky . . . . .	746
8.7	Rozběhové spojky . . . . .	749
8.8	Volnoběžné spojky . . . . .	756
8.9	Hydraulické spojky . . . . .	760
8.9.1	Hydrodynamické spojky . . . . .	760
8.9.1.1	Konstrukční uspořádání hydrodynamických spojek . . . . .	771
8.9.2	Hydrostatické spojky . . . . .	771
8.10	Elektrické spojky . . . . .	773