

# OBSAH

	Předmluva . . . . .	13
	Seznam použitých značek ( <i>M. Pirner</i> ) . . . . .	15
1.	Úvod ( <i>O. Fischer</i> ) . . . . .	21
1.1	Základní pojmy ( <i>J. Hořejší</i> ) . . . . .	22
1.1.1	Rychlost; zrychlení . . . . .	23
1.1.2	Hybnost a moment hybnosti hmotného bodu a hmotného tělesa . . . . .	25
1.1.3	Kinetická a potenciální energie . . . . .	28
1.2	Základní zákony mechaniky . . . . .	31
1.2.1	Newtonův zákon . . . . .	31
1.2.2	Zákon o zachování mechanické energie . . . . .	32
1.2.3	Lagrangeův princip virtuálních prací . . . . .	32
1.2.4	Bettiho věta . . . . .	34
1.2.5	Maxwellova věta . . . . .	34
1.2.6	D'Alembertův princip . . . . .	35
1.2.7	Hamiltonův princip . . . . .	37
1.3	Vztah dynamiky ke statice při navrhování a posuzování konstrukcí ( <i>M. Pirner</i> ) . . . . .	38
1.3.1	Lineární superpozice . . . . .	38
1.3.2	Nelineární superpozice . . . . .	39
1.3.3	Posuzování konstrukcí namáhaných na únavu . . . . .	39
1.3.4	Výpočetní modely a kritéria . . . . .	39
2.	Dynamická zatížení stavebních konstrukcí . . . . .	42
2.1	Deterministické zatížení ( <i>J. Hořejší</i> ) . . . . .	42
2.2	Náhodné zatížení ( <i>L. Frýba</i> ) . . . . .	47
2.2.1	Charakteristiky náhodných veličin . . . . .	50
2.2.1.1	Korelační funkce . . . . .	57
2.2.1.2	Spektrální hustota . . . . .	66
2.3	Dopravní prostředky . . . . .	71
2.3.1	Vliv pohybující se hmoty . . . . .	71
2.3.2	Vliv zakřivení jízdní dráhy . . . . .	80
2.3.3	Nerovnosti jízdní dráhy a kol vozidel . . . . .	80
2.3.4	Odstředivé síly . . . . .	81
2.3.5	Boční rázy . . . . .	81
2.3.6	Rozjezdové a brzdné síly . . . . .	82

2.3.7	Náhodný zatěžovací proces dopravního proudu . . . . .	82
2.3.8	Šíření účinků dopravy podloží (P. Novák) . . . . .	83
2.4	Zatížení stroji . . . . .	86
2.4.1	Buzení stroji . . . . .	86
2.4.2	Normové hodnoty budících sil . . . . .	87
2.4.2.1	Rotační stroje . . . . .	87
2.4.2.2	Pístové motory . . . . .	93
2.4.2.3	Síta, drtiče, slévárenské stroje . . . . .	98
2.4.3	Výpočtové hodnoty budících sil . . . . .	100
2.5	Vítr (M. Pirner) . . . . .	102
2.5.1	Obecné pojmy o atmosféře . . . . .	102
2.5.2	Vlastnosti větru v přízemní mezní vrstvě . . . . .	104
2.5.3	Dynamické zatížení větrem . . . . .	106
2.5.4	Výskyty rychlosti větru a počet kmitů způsobených větrem . . . . .	111
2.5.5	Aerodynamická stabilita . . . . .	116
2.6	Zemětřesení (O. Fischer) . . . . .	124
2.6.1	Vznik zemětřesení . . . . .	124
2.6.2	Šíření otřesů . . . . .	125
2.6.3	Charakter otřesu . . . . .	126
2.6.4	Intenzita zemětřesení . . . . .	128
2.7	Technická seizmicita (P. Novák) . . . . .	131
2.7.1	Obecné poznatky (M. Baťa) . . . . .	131
2.7.2	Přibližné vztahy pro určení šíření technických otřesů podloží . . . . .	132
2.8	Jiná zatížení (M. Pirner) . . . . .	134
2.8.1	Tlakové vlny od výbuchů . . . . .	134
2.8.2	Zatížení stavebních konstrukcí tlakovou vlnou od výbuchu . . . . .	136
2.8.3	Tlakové vlny způsobené letadly . . . . .	142
2.8.4	Ráz padajícího letadla . . . . .	144
2.8.5	Zatížení pohybem zvonů (O. Fischer) . . . . .	145
2.8.6	Zatížení člověkem (M. Pirner) . . . . .	147
3.	Vlastnosti materiálů při dynamickém namáhání (M. Pirner) . . . . .	148
3.1	Základní charakteristiky materiálů a zemin . . . . .	148
3.1.1	Ocel při dynamickém namáhání . . . . .	148
3.1.2	Beton při dynamickém namáhání . . . . .	150
3.1.3	Dřevo při dynamickém namáhání . . . . .	151
3.1.4	Zeminy . . . . .	151
3.2	Únava materiálu . . . . .	153
3.2.1	Teorie porušení . . . . .	153
3.2.2	Podklady pro výpočet na únavu . . . . .	154
3.2.2.1	Zjednodušený postup . . . . .	155
3.3	Útlum . . . . .	157
3.3.1	Vyjádření útlumu ve výpočtových modelech . . . . .	158
3.3.2	Hodnoty logaritmického dekrementu útlumu výchylky (ekvivalentní viskózní útlum) . . . . .	160

4.	Základní vztahy teorie kmitání ( <i>M. Baťa</i> ) . . . . .	162
4.1	Kmitání soustavy s jedním stupněm volnosti . . . . .	163
4.1.1	Vlastní netlumené kmitání . . . . .	163
4.1.2	Vlastní tlumené kmitání . . . . .	165
4.1.3	Netlumené kmitání vynucené deterministickým buzením . . . . .	168
4.1.3.1	Harmonicky proměnná síla . . . . .	169
4.1.3.2	Budící síla periodického průběhu . . . . .	171
4.1.3.3	Budící síla zcela obecného průběhu . . . . .	172
4.1.3.4	Kmitání vybuzené impulsem síly . . . . .	174
4.1.3.5	Duhamelův integrál . . . . .	177
4.1.4	Tlumené kmitání vynucené deterministickým buzením . . . . .	179
4.1.4.1	Harmonicky proměnná síla . . . . .	179
4.1.4.2	Budící síla periodického průběhu . . . . .	182
4.1.4.3	Budící síla zcela obecného průběhu . . . . .	183
4.1.4.4	Impuls síly . . . . .	183
4.1.4.5	Duhamelův integrál . . . . .	184
4.1.5	Kinematické buzení . . . . .	184
4.1.6	Otáčivé kmitání . . . . .	185
4.1.7	Zatížení rázem . . . . .	186
4.1.7.1	Nedokonale pružný ráz . . . . .	188
4.1.7.2	Plastický ráz . . . . .	189
4.1.7.3	Příčný ráz na nosník ( <i>L. Frýba</i> ) . . . . .	190
4.1.8	Frekvenční přenos lineární soustavy ( <i>M. Baťa</i> ) . . . . .	191
4.2	Kmitání soustav o více stupních volnosti . . . . .	193
4.2.1	Metoda konstant tuhosti . . . . .	193
4.2.1.1	Soustavy se dvěma stupni volnosti . . . . .	196
4.2.1.2	Soustavy se třemi stupni volnosti . . . . .	201
4.2.1.3	Kmitání tuhého tělesa . . . . .	205
4.2.2	Metoda konstant poddajnosti . . . . .	207
4.2.3	Tlumené kmitání soustav s konečným počtem stupňů volnosti . . . . .	209
4.2.4	Některé jiné metody . . . . .	212
4.2.5	Přibližné vzorce pro určení základní frekvence . . . . .	212
4.2.6	Vynucené kmitání soustav o více stupních volnosti . . . . .	212
4.2.6.1	Soustava harmonických sil, přímé řešení . . . . .	212
4.2.6.2	Řešení rozkladem podle vlastních tvarů kmitání . . . . .	214
4.2.6.3	Řešení v normálových souřadnicích . . . . .	217
4.2.6.4	Kinematické buzení . . . . .	218
4.3	Soustavy se spojitě rozloženou hmotou . . . . .	219
4.3.1	Příčné kmitání struny . . . . .	219
4.3.2	Vlastní kmitání prutu . . . . .	220
4.3.2.1	Příčné ohybové kmitání prutu . . . . .	221
4.3.2.2	Podélné kmitání prutu . . . . .	223
4.3.2.3	Kroutivé kmitání prutu . . . . .	224
4.3.2.4	Příčné kmitání prutu zatíženého osovou silou . . . . .	225

4.3.2.5	Příčné kmitání prutu s uvažováním jen smykových deformací . . . . .	227
4.3.2.6	Příčné kmitání prutu s uvažováním normálových a smykových deformací	228
4.3.2.7	Příčné kmitání prutu s uvažováním normálových a smykových deformací včetně vlivu rotačních momentů setrvačných sil . . . . .	228
4.3.3	Vynucené kmitání prutu . . . . .	230
4.3.3.1	Spojité harmonicky proměnné zatížení . . . . .	232
4.3.3.2	Obecné proměnné zatížení . . . . .	232
4.3.4	Kmitání membrán . . . . .	234
4.3.5	Kmitání pravoúhlé desky . . . . .	236
4.3.5.1	Přímé řešení vlastního kmitání . . . . .	237
4.3.5.2	Přibližné řešení vlastního kmitání . . . . .	239
4.3.5.3	Vynucené kmitání . . . . .	240
4.3.6	Kmitání kruhové desky . . . . .	241
4.3.6.1	Přímé řešení vlastního kmitání . . . . .	242
4.3.6.2	Přibližné řešení vlastního kmitání . . . . .	244
4.3.6.3	Vynucené kmitání . . . . .	244
4.4	Kontinuum . . . . .	244
4.4.1	Druhy vln . . . . .	246
4.4.2	Vlny v neohrazeném pružném prostředí . . . . .	248
4.4.2.1	Podélné rovinné vlny . . . . .	249
4.4.2.2	Příčné rovinné vlny . . . . .	250
4.4.2.3	Sférické vlny . . . . .	250
4.4.2.4	Otáčivé vlny . . . . .	250
4.4.3	Vlny v pružném poloprostoru . . . . .	251
4.4.3.1	Rayleighovy vlny . . . . .	251
4.4.3.2	Loveovy vlny . . . . .	252
4.4.4	Vlny v nekonečně tenké vrstvě . . . . .	252
4.4.4.1	Podélné vlny . . . . .	253
4.4.4.2	Příčné vlny . . . . .	253
4.4.4.3	Kruhové vlny . . . . .	253
4.4.5	Odraz vln . . . . .	253
4.5	Řešení složitějších konstrukcí . . . . .	254
4.5.1	Deformační metoda . . . . .	254
4.5.1.1	Vynucené kmitání . . . . .	257
4.5.1.2	Vlastní kmitání . . . . .	258
4.5.2	Metoda konečných prvků . . . . .	259
4.5.3	Metoda počátečních parametrů . . . . .	264
4.5.4	Metoda přenosových matic . . . . .	267
4.5.4.1	Diskrétní soustavy . . . . .	267
4.5.4.2	Soustavy se spojitě rozloženou hmotou . . . . .	269
4.5.5	Metoda dynamických přírůstků . . . . .	270
4.5.6	Nosníky . . . . .	272
4.5.6.1	Vynucené kmitání nosníků . . . . .	272
4.5.6.2	Vlastní kmitání nosníků . . . . .	275
4.5.6.3	Nosníky proměnného průřezu . . . . .	278

4.5.7	Spojité nosníky . . . . .	279
4.5.7.1	Spojité nosník na tuhých podporách . . . . .	279
4.5.7.2	Spojité nosník na pružných podporách . . . . .	283
4.5.7.3	Spojité nosník kloubový . . . . .	286
4.5.8	Rámové konstrukce . . . . .	288
4.5.8.1	Rovinné rámové konstrukce . . . . .	288
4.5.8.2	Prostorové rámové konstrukce . . . . .	294
4.5.9	Oblouky ( <i>M. Pirner</i> ) . . . . .	296
4.5.9.1	Dvoukloubový oblouk . . . . .	296
4.5.9.2	Oboustranně vetknutý oblouk . . . . .	297
4.5.9.3	Jiné obloukové konstrukce . . . . .	298
4.5.10	Skořepiny . . . . .	301
4.5.10.1	Ploché válcové skořepiny . . . . .	301
4.5.10.2	Skořepiny s dvojitou konstantní křivostí . . . . .	302
4.5.10.3	Válcové kruhové skořepiny . . . . .	303
4.5.10.4	Kónické kruhové skořepiny . . . . .	305
4.5.10.5	Kulové skořepiny . . . . .	306
4.5.11	Tenkostěnné nosníky neměnného průřezu . . . . .	307
4.5.12	Vláknové konstrukce . . . . .	309
4.5.12.1	Lana . . . . .	309
4.5.12.2	Zavěšené nepředpjaté sítě . . . . .	309
4.5.12.3	Zavěšené předpjaté sítě . . . . .	310
4.5.13	Příhradové konstrukce . . . . .	314
4.6	Náhodné kmitání ( <i>L. Frýba</i> ) . . . . .	316
4.6.1	Stacionární kmitání . . . . .	316
4.6.2	Stacionární kmitání nosníků . . . . .	320
4.6.3	Nestacionární kmitání . . . . .	322
4.6.4	Nestacionární kmitání nosníků . . . . .	323
4.6.5	Překročení hladin a výskyt maxim u náhodného kmitání . . . . .	324
4.7	Kmitání od pohybujícího se zatížení . . . . .	326
4.7.1	Pohyb konstantní síly po nosníku . . . . .	328
4.7.2	Pohyb harmonicky proměnné síly po nosníku . . . . .	330
4.7.3	Pohyb rovnoměrného zatížení . . . . .	331
4.7.4	Přibližný výpočet vlivu pohybující se hmoty . . . . .	332
4.7.5	Modelování dopravních konstrukcí . . . . .	332
4.8	Nelineární kmitání ( <i>M. Baťa</i> ) . . . . .	333
4.8.1	Druhy nelinearit . . . . .	333
4.8.2	Nelineární kmitání soustav s jedním stupněm volnosti . . . . .	335
4.8.2.1	Vlastní kmitání . . . . .	335
4.8.2.2	Vynucené kmitání . . . . .	336
4.8.3	Nelineární kmitání soustav o více stupních volnosti . . . . .	337
5.	Kmitání stavebních konstrukcí . . . . .	339
5.1	Úvod . . . . .	339
5.2	Dopravní konstrukce ( <i>L. Frýba</i> ) . . . . .	339



5.2.1	Silniční mosty . . . . .	339
5.2.2	Železniční mosty . . . . .	344
5.2.3	Železniční svršek . . . . .	349
5.2.4	Silniční a letištní vozovky . . . . .	353
5.2.5	Jeřábové dráhy a jeřáby . . . . .	356
5.2.6	Jiné dopravní konstrukce . . . . .	358
5.2.6.1	Lávky pro chodce . . . . .	358
5.2.6.2	Dopravníkové mosty . . . . .	359
5.2.6.3	Ochranné sítě a mosty . . . . .	359
5.2.6.4	Ochranné zdi a galérie . . . . .	360
5.3	Budovy ( <i>M. Pirner</i> ) . . . . .	360
5.3.1	Vysoké budovy . . . . .	360
5.3.1.1	Vlastní vodorovné kmitání, výpočtové modely . . . . .	360
5.3.1.2	Tlumení vodorovných výchylek . . . . .	369
5.3.1.3	Vynucené vodorovné kmitání . . . . .	374
5.3.2	Obytné a jiné budovy . . . . .	379
5.3.3	Průmyslové budovy ( <i>P. Novák</i> ) . . . . .	381
5.4	Speciální konstrukce ( <i>O. Fischer</i> ) . . . . .	387
5.4.1	Věže a komíny . . . . .	387
5.4.1.1	Konzola stálého průřezu . . . . .	387
5.4.1.2	Tuhé těleso na pružném podkladě . . . . .	388
5.4.1.3	Prizmatická pružně vetknutá konzola . . . . .	390
5.4.1.4	Konzola proměnného průřezu, přibližné řešení vlastní frekvence . . . . .	392
5.4.1.5	Konzola s diskretními hmotami . . . . .	393
5.4.1.6	Konzola z tuhých prvků spojených klouby . . . . .	393
5.4.1.7	Konzola z pružných prizmatických částí . . . . .	395
5.4.1.8	Přímé řešení konzoly proměnného průřezu . . . . .	397
5.4.1.9	Výpočet odezvy na seizmické buzení . . . . .	398
5.4.2	Kotvené stožáry . . . . .	400
5.4.2.1	Statické působení lana . . . . .	400
5.4.2.2	Dynamické působení lana . . . . .	402
5.4.2.3	Příčné kmitání kotvených stožárů . . . . .	406
5.4.2.4	Torzní kmitání stožáru . . . . .	409
5.4.3	Jiné konstrukce . . . . .	410
5.4.3.1	Osvětlovací stožáry . . . . .	410
5.4.3.2	Technologické konstrukce . . . . .	411
5.4.3.3	Chladicí věže . . . . .	411
5.4.3.4	Věžové vodojemy . . . . .	411
5.5	Základy strojů ( <i>P. Novák</i> ) . . . . .	413
5.5.1	Zásady výpočtu . . . . .	413
5.5.1.1	Náhradní statický výpočet při zatížení stroji . . . . .	413
5.5.1.2	Náhradní statický výpočet při zatížení dopravními manipulačními prostředky . . . . .	415
5.5.1.3	Třídění strojů podle otáček, podle velikosti amplitudy . . . . .	417
5.5.2	Blokové základy . . . . .	419
5.5.2.1	Plošné podepření základu . . . . .	420

5.5.2.2	Podepření základu skupinami pružných členů . . . . .	422
5.5.2.3	Zjednodušené řešení . . . . .	424
5.5.3	Rámové základy . . . . .	425
5.5.4	Šíření kmitání od strojů . . . . .	429
5.6	Zmenšování dynamických účinků ( <i>O. Fischer</i> ) . . . . .	431
5.6.1	Omezení dynamických zatížení . . . . .	431
5.6.2	Rezonanční jevy . . . . .	431
5.6.3	Širokopásmové buzení . . . . .	432
5.6.4	Prostředky ke zvýšení útlumu . . . . .	433
5.6.5	Vibroizolace . . . . .	435
5.6.6	Dynamické tlumiče kmitů . . . . .	438
5.7	Účinky zemětřesení na konstrukce . . . . .	443
5.7.1	Kvazistatické řešení . . . . .	443
5.7.2	Řešení pomocí spekter odezvy . . . . .	443
5.7.3	Zemětřesení jako náhodný proces . . . . .	445
5.7.4	Řešení podle ČSN 73 0036 . . . . .	446
5.7.5	Plastické chování konstrukcí . . . . .	447
5.7.6	Konstrukční zásady pro antiseizmické stavby . . . . .	448
5.7.7	Zmenšování seizmických účinků . . . . .	449
5.8	Kritéria přípustnosti kmitání ( <i>M. Pirner</i> ) . . . . .	449
5.8.1	Účinky na člověka . . . . .	449
5.8.1.1	Přípustné hodnoty vibrací . . . . .	450
5.8.1.2	Účinky na stavbách . . . . .	455
5.8.1.3	Vodorovné účinky ve vysokých konstrukcích . . . . .	456
5.8.1.4	Svislé účinky na stropních konstrukcích . . . . .	458
5.8.1.5	Účinky na mostech a lávkách . . . . .	458
5.8.2	Účinky na stavební konstrukce . . . . .	459
5.8.3	Účinky na technologii provozu . . . . .	461
5.8.4	Spolehlivost a životnost konstrukcí . . . . .	466
5.8.4.1	Poškození budovy po účincích zemětřesení . . . . .	467
5.8.4.2	Poškození nenosné části budovy po jednom zemětřesení . . . . .	468
5.8.4.3	Poškození oken . . . . .	468
5.8.4.4	Poškození po účincích větru . . . . .	469
5.8.4.5	Odhad únavové životnosti mostů ( <i>L. Frýba</i> ) . . . . .	470
5.8.5	Přípustné účinky průmyslové exploze ( <i>P. Novák</i> ) . . . . .	471
6.	Experimentální metody ( <i>M. Pirner</i> ) . . . . .	474
6.1	Sledované veličiny a jejich měření . . . . .	474
6.2	Měřicí linka . . . . .	475
6.3	Experimenty na skutečných konstrukcích . . . . .	476
6.4	Experimenty na modelech . . . . .	476
	Literatura . . . . .	477
	Rejstřík . . . . .	485