

OBSAH

PŘEDMLUVA	12
SEZNAM UŽITÝCH ZNAČEK	14
1. ÚVOD	19
1.1 Úloha dynamiky stavebních konstrukcí	19
1.2 Základní pojmy	23
1.2.1 Základní předpoklady	23
1.2.2 Souřadné soustavy	23
1.2.2.1 Descartovy souřadnice	23
1.2.2.2 Zobecněné souřadnice	25
1.2.2.3 Normální souřadnice	25
1.2.3 Stupně volnosti	25
1.2.3.1 Diskrétní soustavy	26
1.2.3.2 Soustavy se spojitě rozdělenými parametry	27
1.2.3.3 Metoda konečných prvků	28
1.3 Zákonů a metody dynamiky stavebních konstrukcí	28
1.3.1 Virtuální práce	28
1.3.2 Kinetická a potenciální energie	30
1.3.3 D'Alembertův princip	31
1.3.4 Hamiltonův princip	33
1.3.5 Lagrangeovy rovnice	35
1.3.6 Bettiho věta o vzájemnosti	36
1.4 Pohyb hmotného bodu, desky a tělesa	38
1.4.1 Pohyb hmotného bodu	38
1.4.2 Pohyb dokonale tuhé desky	38
1.4.3 Pohyb dokonale tuhého tělesa	39
1.5 Útlum kmitání	42
2. BUDÍCÍ SÍLY PŮSOBÍCÍ NA STAVEBNÍ KONSTRUKCE	45
3. KMITÁNÍ SOUSTAV S JEDNÍM STUPNĚM VOLNOSTI	51
3.1 Formulace úlohy	51
3.2 Vlastní netlumené kmitání	55
3.3 Vynucené netlumené kmitání	60
3.3.1 Budicí síla harmonicky proměnná	65
3.3.2 Budicí síla periodického průběhu	66
3.3.3 Budicí síla zcela obecného průběhu	66
3.3.4 Budicí impuls síly	68
3.3.5 Kinematické buzení	71
3.4 Vlastní tlumené kmitání	72
3.4.1 Tlumení úměrné rychlosti – viskózní útlum	72

3.4.2	Tlumení smykovým třením	76
3.5	Vynucené tlumené kmitání	78
3.5.1	Tlumení úměrné rychlosti	78
3.5.1.1	Budící síla harmonicky proměnná	78
3.5.1.2	Budící síla periodického průběhu	82
3.5.1.3	Budící síla zcela obecného průběhu	83
3.5.1.4	Budící impuls síly	83
3.5.1.5	Kinematické buzení	83
3.5.2	Tlumení smykovým třením	85
3.5.3	Ztráty energie při vynuceném tlumeném kmitání	85
4.	VOLNÉ KMITÁNÍ SOUSTAV S KONEČNÝM POČTEM STUPŇŮ VOLNOSTI	88
4.1	Matice popisující vlastnosti konstrukce	88
4.2	Metoda konstant tuhosti	92
4.2.1	Volné kmitání soustav se dvěma stupni volnosti	92
4.2.2	Volné kmitání soustav se třemi stupni volnosti	97
4.3	Metoda konstant poddajnosti	101
4.3.1	Volné kmitání soustav se dvěma stupni volnosti	101
4.3.2	Volné kmitání soustav se třemi stupni volnosti	103
4.4	Ortogonalita tvarů vlastního kmitání	105
4.5	Normalizování tvarů vlastního kmitání	107
4.6	Vztah mezi metodou konstant tuhosti a konstant poddajnosti	109
4.7	Iterační metoda Stodolova	110
4.7.1	Výpočet základních vlastních frekvencí	111
4.7.2	Výpočet nejvyšších vlastních frekvencí	113
4.8	Energetická metoda	114
4.8.1	Energetická Rayleighova metoda	114
4.8.2	Zpřesněná Rayleighova metoda	116
4.9	Přibližné vzorce pro určení základní frekvence	117
4.9.1	Baumannův – Geigerův vzorec	117
4.9.2	Dunkerleyův vzorec	117
4.10	Řešení složitějších soustav	118
4.11	Volné tlumené kmitání	123
4.12	Metody řešení problému vlastního čísla	127
4.12.1	Obecný problém	128
4.12.2	Speciální problém	129
4.12.3	Le Verrierova metoda	130
4.12.4	Řešení problému vlastních veličin iterací	131
4.12.5	Iterace s posunem	134
5.	VYNUCENÉ KMITÁNÍ SOUSTAV S KONEČNÝM POČTEM STUPŇŮ VOLNOSTI	136
5.1	Soustava harmonických sil, přímé řešení	138
5.1.1	Vynucené kmitání soustavy se dvěma stupni volnosti	139
5.1.2	Vynucené kmitání soustavy se třemi stupni volnosti	141
5.1.3	Vynucené tlumené kmitání	142
5.1.4	Soustava harmonických sil s různou fází působení	144
5.2	Řešení rozkladem podle tvarů vlastního kmitání	144
5.2.1	Budící síly obecného průběhu	147
5.2.2	Soustava harmonických sil	149
5.3	Řešení v normálních souřadnicích	150

5.4	Budící síly periodického průběhu	152
5.5	Kinematické buzení	153
5.6	Numerické metody řešení pohybových rovnic	154
5.6.1	Metoda konstantního zrychlení	155
5.6.2	Metoda lineárního zrychlení	156
5.6.3	Newmarkova metoda	156
5.6.4	Wilsonova metoda	157
5.6.5	Houboltova metoda	157
5.6.6	Metoda centrální diference	159
5.6.7	Metoda smíšené diference	159
6.	VOLNÉ KMITÁNÍ PŘÍMÉHO PRUTU SE SPOJITĚ ROZLOŽENOU HMOTOU 160	
6.1	Příčné netlumené kmitání přímého prutu proměnného průřezu	160
6.2	Příčné netlumené kmitání prizmatického prutu	162
6.2.1	Volné kmitání oboustranně kloubově uloženého prutu	169
6.2.2	Volné kmitání oboustranně vetknutého prutu	170
6.2.3	Určení vlastních frekvencí prutů s libovolným uložením konců	173
6.3	Podélné netlumené kmitání přímého prutu proměnného průřezu	173
6.4	Volné netlumené podélné kmitání prizmatického prutu	174
6.5	Volné netlumené kroutové kmitání přímého prutu proměnného průřezu	177
6.6	Volné netlumené kroutové kmitání prizmatického prutu	178
6.7	Ortogonalita vlastních tvarů	179
6.8	Energetická metoda	180
6.9	Volné kmitání přímého prutu zatíženého osovou silou	182
6.9.1	Volné kmitání prizmatického prutu zatíženého osovou silou	183
6.9.2	Oboustranně kloubově uložený prizmatický prut zatížený osovou silou	184
6.10	Volné kmitání přímého prutu s uvažováním smyku a momentů setrvačných sil	185
6.10.1	Volné kmitání prizmatického prutu	187
6.10.2	Volné kmitání prutu na obou koncích kloubově uloženého	188
6.11	Volné tlumené příčné kmitání přímého prutu	189
6.12	Volné tlumené podélné kmitání přímého prutu	191
6.13	Volné tlumené kroutové kmitání přímého prutu	192
7.	VYNUCENÉ KMITÁNÍ PRIZMATICKÉHO PRUTU	193
7.1	Příčné netlumené kmitání způsobené harmonickým pohybem uložení	193
7.1.1	Nosník vetknutý na obou stranách	195
7.1.2	Prut vlevo vetknutý a vpravo kloubově uložený	198
7.1.3	Prut vlevo kloubově uložený a vpravo vetknutý	200
7.1.4	Prut na obou koncích kloubově uložený	200
7.1.5	Konzola	201
7.2	Podélné netlumené kmitání způsobené harmonickým pohybem uložení	202
7.2.1	Podélné kmitání jednostranně upnutého prutu	202
7.2.2	Podélné kmitání oboustranně upnutého prutu	203
7.3	Kroutové netlumené kmitání způsobené harmonickým pohybem uložení	205
7.3.1	Kroutové kmitání jednostranně upnutého prutu	205
7.3.2	Kroutové kmitání oboustranně upnutého prutu	206
7.4	Příčné kmitání vyvolané spojitým v čase proměnným zatížením	206
7.4.1	Příčné netlumené kmitání vyvolané rovnoměrným harmonicky proměnným zatížením	207
7.4.2	Vynucené ustálené kmitání prutu na obou koncích kloubově uloženého vyvolané rovnoměrným harmonicky proměnným zatížením	207

7.4.3	Vynucené ustálené kmitání na obou koncích vetknutého prutu vyvolané rovnoměrným harmonicky proměnným zatížením	209
7.4.4	Vynucené ustálené kmitání vlevo kloubově uloženého a vpravo vetknutého prutu vyvolané rovnoměrným harmonicky proměnným zatížením	210
7.4.5	Vynucené ustálené kmitání konzoly vyvolané rovnoměrným harmonicky proměnným zatížením	211
7.4.6	Vynucené ustálené kmitání prutu vyvolané spojitým harmonicky proměnným zatížením	211
7.5	Příčné tlumené kmitání prutu vyvolané spojitým zatížením	211
7.6	Příčné tlumené kmitání prutu vyvolané rovnoměrným harmonicky proměnným zatížením	215
7.7	Rayleighova věta o vzájemnosti	215
8.	ŘEŠENÍ KMITÁNÍ SLOŽENÝCH SOUSTAV DEFORMAČNÍ METODOU	215
8.1	Princip deformační metody	217
8.1.1	Vlastní kmitání	220
8.1.2	Volné kmitání	221
8.1.3	Vynucené kmitání	222
8.2	Nosníky	222
8.2.1	Vynucené ustálené kmitání prostého nosníku	222
8.2.2	Vynucené kmitání prostého nosníku	225
8.2.3	Vynucené ustálené kmitání oboustranně vetknutého nosníku	225
8.3	Spojité nosník	230
8.3.1	Spojité nosník na nepoddajných podporách	230
8.3.2	Spojité nosník na poddajných podporách	231
8.4	Rámové konstrukce	232
8.4.1	Řešení bez uvažování podélného kmitání	232
8.4.2	Řešení s uvažováním podélného kmitání	234
8.5	Maticová forma deformační metody	235
9.	KMITÁNÍ NEPRIZMATICKÉHO PRUTU	241
9.1	Řešení deformační metodou	242
9.2	Zjednodušená deformační metoda	243
9.3	Rayleighova energetická metoda	246
10.	DALŠÍ METODY ŘEŠENÍ KMITÁNÍ KONSTRUKCÍ	247
10.1	Metoda konečných prvků	247
10.1.1	Matice statické tuhosti jednorozměrných prvků	249
10.1.1.1	Prutový prvek zatížený v uzlech osovými silami	249
10.1.1.2	Prutový prvek zatížený v uzlech momenty a příčnými silami	253
10.1.2	Konzistentní matice hmotnosti jednorozměrných prvků	257
10.1.2.1	Soustavy se soustředěnými hmotami	257
10.1.2.2	Soustavy se spojitě rozloženou hmotou	258
10.1.3	Řešení vlastního kmitání prutové soustavy	261
10.2	Metoda dynamických přírůstků	263
10.3	Metoda přenosových matic	266
10.3.1	Přenosová matice úseku	268
10.3.2	Přechodová matice styčnicku	269
10.3.3	Matice začátečních parametrů a matice ohrájových podmínek	270
10.3.4	Řešení vlastního kmitání	271
11.	KMITÁNÍ PLOŠNÝCH SOUSTAV ROVINNÝCH	273
11.1	Membrána	273

11.1.1	Obdélníková membrána	273
11.1.1.1	Vlastní kmitání obdélníkové membrány	273
11.1.1.2	Vynucené kmitání obdélníkové membrány	275
11.1.2	Kruhová membrána	276
11.2	Obdélníková deska	278
11.2.1	Vlastní kmitání obdélníkové desky	279
11.2.1.1	Přímé řešení	280
11.2.1.2	Rayleighova energetická metoda	283
11.2.1.3	Řešení Ritzovou metodou	284
11.2.1.4	Řešení Galerkinovou metodou	284
11.2.2	Vynucené kmitání obdélníkové desky	285
11.2.2.1	Řešení rozkladem podle vlastních tvarů kmitání	285
11.2.2.2	Řešení Ritzovou metodou	286
11.2.2.3	Řešení Galerkinovou metodou	287
11.3	Kruhová deska	287
11.3.1	Vlastní kmitání kruhové desky	287
11.3.2	Vynucené kmitání kruhové desky	289
12.	KMITÁNÍ PLOŠNÝCH SOUSTAV PROSTOROVÝCH	291
12.1	Tenkostěnný prut	291
12.1.1	Vlastní kmitání tenkostěnného prutu	292
12.1.2	Vynucené kmitání tenkostěnného prutu	294
12.2	Skořepiny	296
12.2.1	Základní vztahy	296
12.2.2	Kmitání ploché válcové skořepiny	299
12.2.2.1	Vlastní kmitání ploché válcové skořepiny	300
12.2.2.2	Vynucené kmitání ploché válcové skořepiny	301
13.	ZATÍŽENÍ STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ RÁZEM	303
13.1	Ráz na soustavu s jedním a několika stupni volnosti	303
13.1.1	Klasická teorie rázu	303
13.1.2	Ráz na soustavu s jedním stupněm volnosti při nedokonalé pružném rázu	305
13.1.3	Ráz na soustavu s jedním stupněm volnosti při dokonale nepružném rázu	306
13.1.4	Ráz na soustavu s několika stupni volnosti	308
13.2	Podélný ráz na prut	310
13.2.1	Energetická teorie rázu	310
13.2.2	Vlnová teorie rázu	312
13.2.3	Statická teorie rázu	314
13.3	Příčný ráz na nosník	315
14.	NÁHODNÉ KMITÁNÍ STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ	317
14.1	Náhodné procesy	317
14.1.1	Distribuční funkce a hustota pravděpodobnosti náhodného procesu	320
14.1.2	Momenty hustot pravděpodobnosti náhodného procesu	322
14.1.3	Stacionarita náhodných procesů	323
14.1.4	Korelační funkce	323
14.1.4.1	Autokorelační funkce náhodného procesu	324
14.1.4.2	Korelační funkce dvou náhodných procesů	325
14.1.4.3	Korelační funkce centrovaných náhodných procesů	326
14.1.4.4	Korelační funkce derivací náhodných procesů	328
14.1.5	Ergodicita stacionárních náhodných procesů	328

14.1.6	Hustota pravděpodobnosti stacionárního ergodického náhodného procesu	331
14.1.7	Výkonová spektrální hustota	333
14.1.7.1	Výkonová spektrální hustota náhodného procesu	333
14.1.7.2	Vzájemná výkonová spektrální hustota	336
14.1.7.3	Výkonová spektrální hustota derivací náhodných procesů	337
14.2	Frekvenční přenos lineární soustavy	337
14.3	Kmitání náhodného charakteru	344
14.3.1	Autokorelační funkce vstupu a výstupu	344
14.3.2	Výkonová spektrální hustota vstupu a výstupu	345
14.3.3	Soustava s jedním stupněm volnosti	347
14.3.4	Soustava s konečným počtem stupňů volnosti	352
14.3.4.1	Řešení v normálních souřadnicích	353
14.3.4.2	Řešení rozkladem podle vlastních tvarů kmitání	355
14.3.5	Soustava se spojitě rozdělenou hmotou	357
15.	ZÁKLADY KMITÁNÍ MOSTNÍCH KONSTRUKCÍ	359
15.1	Dynamické účinky na železniční a silniční mosty	359
15.2	Dynamické účinky vozidel	363
15.2.1	Základní varianty úlohy	363
15.2.2	Vozidlo a jeho výpočtový model	366
15.3	Vliv nerovností jízdní dráhy	372
15.4	Pohyb konstantní síly po nosníku	373
15.4.1	Pohyb konstantní síly po nehmotném nosníku	373
15.4.2	Pohyb konstantní síly po hmotném nosníku	373
15.4.2.1	Přibližné řešení	373
15.4.2.2	Přesné řešení	375
15.4.3	Pohyb konstantní síly po hmotném nosníku s další soustředěnou hmotou uprostřed rozpětí	380
15.5	Pohyb soustředěné hmoty po nehmotném nosníku	382
15.6	Pohyb soustředěné hmoty po hmotném nosníku	384
15.7	Pohyb harmonicky proměnné síly po hmotném nosníku	384
16.	ZÁKLADY KMITÁNÍ BUDOV	387
16.1	Náhradní výpočtová schémata budov	387
16.2	Soustava s jedním stupněm volnosti	387
16.3	Dokonale tuhé těleso uložené na pružné základové půdě	388
16.4	Rovinná soustava s tuhými příčlemi	388
16.5	Prostorová konstrukce z tuhých desek propojených sloupy	390
16.6	Prostorová konstrukce z tuhých desek propojených sloupy, zavětrovacími stěnami a výztužným jádrem	395
16.7	Rámové konstrukce	395
16.8	Pružný konzolový nosník vetknutý do základu	396
16.8.1	Náhradní výpočtové schéma jako soustava s n stupni volnosti	396
16.8.2	Náhradní výpočtové schéma jako soustava se spojitě rozdělenou hmotou	397
16.9	Seismické účinky	398
16.9.1	Výpočty účinků zemětřesení na stavební konstrukce	399
16.9.2	Odezva konzolového prutu vetknutého do základu na seismické buzení	400
16.9.3	Odezva soustavy s tuhými příčlemi na seismické buzení	401
16.9.4	Odezva soustavy složené z tuhých desek propojených pružnými sloupy na seismické buzení	402
16.9.5	Odezva rámové soustavy buzené seismickými účinky	403

16.9.6	Odezva konstrukce na seismické buzení podle normy ČSN 73 0036	403
16.10	Dynamické účinky větru	404
16.10.1	Zatížení větrem	405
16.10.2	Oddělování vírů za válcem kruhového průřezu	406
16.10.3	Dynamické zatížení větrem podle ČSN 73 0035	407
17.	ZÁKLADY STROJŮ	409
17.1	Rozdělení základů strojů	409
17.2	Normové a výpočtové hodnoty budících sil strojů	411
17.2.1	Budící síly strojů	411
17.2.2	Obecné principy určení budících sil	412
17.2.3	Určování normových hodnot sil u strojů s nominálně vyváženými hmotami	413
17.2.4	Určování normových hodnot budících sil u strojů s konstrukčně nevyváženými hmotami	413
17.2.5	Určování náhodných budících sil	413
17.3	Pružné ukládání strojů	413
17.4	Blokové základy strojů	414
17.4.1	Blokový základ uložený na pružných členech	415
17.4.2	Kmitání základu na pružných členech vyvolané pohybem podkladu	418
17.4.3	Blokový základ uložený na pružném prostředí	419
17.5	Základ stroje jako dvě tuhé desky spojené sloupy	420
17.6	Rámové základy strojů	420
17.7	Pružné uložení stroje na rámové konstrukci	420
18.	ÚVOD DO KMITÁNÍ KONTINUA	422
18.1	Rovnice pohybu	426
18.2	Šíření vln v pružném prostředí	426
18.2.1	Podélné vlny	426
18.2.2	Příčné vlny	428
18.2.3	Sférické vlny	430
18.3	Seismické vlastnosti prostředí	432
19.	KRITÉRIA PŘÍPUSTNOSTI KMITÁNÍ	433
19.1	Posouzení stavební konstrukce	433
19.1.1	Posouzení únosnosti konstrukce	433
19.1.2	Posouzení konstrukce na únavu	434
19.1.3	Posouzení přetvoření konstrukce	435
19.2	Vliv kmitání na technologické zařízení	435
19.3	Vliv kmitání na lidský organismus	437
19.4	Účinky kmitání na okolní objekty	442
	LITERATURA	446