

Obsah

1.	Údržba strojů – cíle strategie a hospodárnost	11
1.1	Cíle a náklady	11
1.2	Strategie	13
1.2.1	Údržba po poruše	15
1.2.2	Údržba podle časového plánu	16
1.2.3	Údržba strojů podle jejich skutečného stavu	16
1.3	Hospodárnost	17
1.3.1	Náklady na údržbu	17
1.3.2	Možnosti úspor a praktické příklady	19
2.	Poškození – důvod údržby	25
2.1	Příčiny poškození	25
2.1.1	Úkoly údržby	26
2.1.2	Inspekce	27
2.2	Rezerva na opotřebení	28
2.2.1	Mechanické opotřebení	29
2.2.1.1	Příklad poškození	30
2.2.2	Koroze	31
2.2.2.1	Příklad poškození	31
2.2.3	Únava	32
2.2.3.1	Příklad poškození	33
2.2.4	Stárnutí	35
2.2.5	Rozložení četnosti mechanismů opotřebení	35
3.	Měřené veličiny a měřicí metody pro posuzování stavu strojů	39
3.1	Mechanické kmitání	41
3.1.1	Základní pojmy	41
3.1.1.1	Periodické kmitání	41
3.1.1.2	Harmonické kmitání	42
3.1.1.3	Složené kmitání	42
3.1.1.4	Zobrazení periodického kmitání	43
3.1.1.5	Měřené veličiny pro mechanické kmitání	44
3.1.1.6	Charakteristické parametry harmonického kmitání	45
3.1.1.7	Charakteristické parametry složeného kmitání	46
3.1.1.8	Obvyklé údaje týkající se velikosti kmitání	46
3.1.1.9	Druhy kmitání u strojů	49

3.1.2	Absolutní kmitání ložisek	51
	Příklad	51
3.1.2.1	Snímače	53
	Snímače rychlosti kmitání	53
	Snímače zrychlení	55
3.1.2.2	Směrnice pro měření a posuzování	57
3.1.3	Charakteristická veličina stavu valivých ložisek	59
	Charakteristické znaky poškození valivých ložisek	60
	Princip měření	61
	Příklad	63
3.1.4	Relativní kmitání hřídelů	64
	Příklad	66
3.1.4.1	Měřené veličiny	68
3.1.4.2	Snímače	70
	Metoda měření pomocí vířivých proudů	71
3.1.4.3	Směrnice pro měření a posuzování	78
	Posouzení podle VDI 2059 (kritérium 1)	78
	Posouzení podle VDI 2059 (kritérium 2)	81
3.2	Relativní posuny hřídele	83
	Příklad	85
3.3	Relativní roztažení hřídele	87
3.4	Absolutní roztažení skříňe	88
3.5	Ostatní měřené veličiny	89
3.5.1	Teplota	89
	Příklad	90
3.5.1.1	Snímače	91
	Termočlánky	91
	Teplotně závislý odpor	91
3.5.2	Otáčky a klid stroje	92
3.5.3	Výstřednost rotoru	93
4.	Metody inspekce	95
4.1	Časový postup inspekce	95
4.1.1	Nepřavidelná a pravidelná inspekce	97
4.1.2	Průběžná inspekce	99
4.2	Definice metod	101
4.2.1	Posouzení strojů	102
4.2.2	Diagnostika strojů	103
4.2.3	Sledování strojů	104
4.2.4	Údržba strojů podle skutečného stavu s pravidelnou inspekcí	105
4.2.5	Údržba strojů podle skutečného stavu s kontinuální inspekcí	106

4.3	Porovnání efektivnosti	106
4.3.1	Investiční náklady	106
4.3.2	Přínosy	109
5.	Posuzování strojů	111
5.1	Základy	111
5.2	Posuzování strojů v praxi	112
5.2.1	Zjišťování relevantních měřených veličin	112
5.2.2	Posuzovací kritéria	114
5.2.2.1	Posouzení porovnáním s mezní hodnotou	115
	Mezní hodnoty z norem a směrnic	116
	Mezní hodnoty udávané výrobcem stroje	118
	Mezní hodnoty na základě zkušeností provozovatele stroje	118
5.2.2.2	Posouzení časového průběhu	120
5.2.3	Příklady	122
5.3	Závěr	125
6.	Diagnostika strojů	127
6.1	Základy	127
6.1.1	Diagnostika závad	129
6.1.2	Způsoby filtrování	130
6.1.2.1	Laditelný filtr	130
6.1.2.2	Analyzátor FFT	133
6.1.2.3	Základní pojmy	136
6.2	Kmitočtová analýza v praxi	139
6.2.1	Úkoly a přínosy	139
6.2.2	Provádění měření	139
6.2.3	Interpretace výsledků	142
6.2.4	Příklady	144
6.2.4.1	Chyba v sousostí rotačního měničového soustrojí	144
6.2.4.2	Poškození valivých ložisek u bagru	147
6.2.4.3	Lom vodiče u elektromotoru kondenzátčního čerpadla	150
6.3	Řádová analýza v praxi	154
6.3.1	Úkoly a přínosy	154
6.3.2	Provádění měření	155
6.3.3	Interpretace výsledků měření	156
6.3.4	Příklad	158
6.3.4.1	Vyšší řády v důsledku nelineárního chování	158
6.4	Přenosová funkce v praxi	161
6.4.1	Úkoly a přínosy	161

6.4.2	Zjišťování přenosové funkce	162
6.4.2.1	Měření přenosové funkce s cizím buzením	163
6.4.2.2	Měření přenosové funkce při rozběhu a doběhu stroje	168
6.4.3	Příklady	169
6.4.3.1	Deformace základového rámu soustrojí s plynovou turbínou	169
6.4.3.2	Rezonanční kmity ventilátorů s regulovatelnými otáčkami	172
7.	Sledování strojů	175
7.1	Základy	175
7.2	Sledování strojů v praxi	176
7.2.1	Snímače měřených hodnot	176
7.2.2	Měřená veličina a místo měření	176
	Příklad	176
7.2.3	Montáž a instalace snímačů měřených hodnot	178
7.2.4	Sledovací elektronika	182
7.2.4.1	Zpracování naměřených hodnot	182
7.2.4.2	Porovnání s mezními hodnotami	183
7.2.4.3	Ochranné obvody	186
7.3	Způsoby realizace sledování strojů	188
7.3.1	Jednokanálové hlídače kmitů	188
	Příklad	189
7.3.2	Jednokanálové sledovací přístroje	190
	Příklad 1	191
	Příklad 2	192
	Příklad 3	194
7.3.3	Vícekanálové modulární systémy	195
	Příklad 1	196
	Příklad 2	197
	Příklad 3	199
7.4	Ekonomická výhodnost sledování strojů	201
7.4.1	Popis příkladu	201
7.4.1.1	Závady před zabudováním sledovacího zařízení	203
7.4.1.2	Poznatky	204
7.4.1.3	Opatření k odstranění závad	206
7.4.1.4	Instalace a výsledky sledování kmitů	207
8.	Údržba strojů podle jejich skutečného stavu	211
8.1	Základy	211
8.1.1	Metody vyhodnocování při údržbě podle skutečného stavu	213
8.1.1.1	Posuzování strojů	214
8.1.1.2	Porovnání s mezními hodnotami	214
8.1.1.3	Prognóza zbývajících provozní doby	215

8.1.1.4	Diagnostika závad	216
8.1.1.5	Včasná diagnostika závad	217
8.1.2	Metody inspekce	218
8.2	Údržba strojů podle jejich skutečného stavu v praxi	219
8.2.1	Zařízení k provádění měření	220
8.2.2	Příprava měření	221
8.2.2.1	Výběr měřicích míst	221
8.2.2.2	Označování měřicích míst	226
8.2.2.3	Připojení snímače kmitů	229
8.2.2.4	Interval měření	233
8.2.2.5	Měřicí pochůzka	234
8.2.3	Osobní počítač	239
8.2.4	Databáze	240
8.2.4.1	Struktura databáze	241
8.2.4.2	Zadávání dat pro závod	243
8.2.4.3	Zadávání dat pro měřicí místa	244
8.2.4.4	Zadávání přídatných dat pro skupiny strojů	245
8.2.4.5	Zadávání přídatných dat pro stroje	246
8.2.4.6	Zadávání komentářů	247
8.2.4.7	Zadávání měřicích pochůzek	248
8.2.5	Přístroj pro sběr dat	249
8.2.5.1	Zavádění do přístroje pro sběr dat	250
8.2.5.2	Sběr dat	250
8.2.5.3	Přehraní z přístroje pro sběr dat zpět do počítače	254
8.2.6	Vyhodnocení výsledků měření	255
8.2.6.1	Zprávy	256
8.2.6.2	Diagramy trendů	258
8.2.6.3	Diagramy trendů s mezními hodnotami	260
8.2.6.4	Diagramy trendů s mezními hodnotami a extrapolací	261
8.2.6.5	Kmitočtová spektra	263
8.2.6.6	Kmitočtové spektrum s mezním spektrem	266
8.2.6.7	Kaskádový diagram	268
8.2.6.8	Selektivní trendy měřených hodnot	270
8.2.6.9	Automatické zjišťování poškozených strojních částí	272
8.3	Perspektivy	274
9.	Poznámky k preventivním opravám	277
9.1	Základy	277
9.1.1	Renovativní opravy	278
9.1.2	Preventivní opravy	278
9.1.2.1	Metody preventivních oprav	278
9.2	Provozní vyvažování	279
9.2.1	Nevyváženost jako škodlivý vliv	279

9.2.2	Příčiny nevyvážků	280
9.2.3	Definice základních pojmů	280
9.2.3.1	Druhy nevyváženosti	281
9.2.3.2	Statické a dynamické vyvažování	284
9.2.4	Zjištění nevyvážku při inspekci	285
9.2.5	Vyvažování v praxi	287
9.2.5.1	Provozní vyvažování v jedné rovině	287
9.2.5.2	Provozní vyvažování ve dvou rovinách	292
9.2.5.3	Omezení vyvažovacích metod	295
9.3	Vyrovnávání	297
9.3.1	Chyby ve vyrovnávání os a ve spojkách jako škodlivé vlivy	297
9.3.2	Příčiny chyb vyrovnání a spojek	298
9.3.3	Definice základních pojmů	299
9.3.3.1	Chyby spojek	300
9.3.3.2	Chyby vyrovnání	302
9.3.4	Zjišťování chyb spojek a chyb vyrovnání při inspekci	306
9.3.4.1	Chyby spojek	306
9.3.4.2	Chyby vyrovnání	308
9.3.5	Vyrovnávání v praxi	312
9.3.5.1	Příprava a pokyny	312
9.3.5.2	Radiální a axiální měření	314
9.3.5.3	Jednostranné radiální měření	317
9.3.5.4	Dvoustranné radiální měření	317
9.3.5.5	Vyrovnávání na předem stanovené paralelní a úhlové přesazení	323
9.3.5.6	Příklad návodu k vyrovnání	325
9.4	Výhody preventivních oprav strojů	327
10.	Doslov	329
11.	Abecední rejstřík	331
12.	Seznam literatury	341