

# EXPERIMENTÁLNÍ METODY V TECHNICE PROSTŘEDÍ

© Doc. Ing. Milan Pavelek, CSc., Ing. Josef Štětina - VUT Brno 1997

## OBSAH SKRIPT

Předmluva	7
<b>1. ZÁKLADNÍ POJMY A METODY PRÁCE</b>	<b>8</b>
1.1 Metody poznání	8
1.2 Experimentální práce	9
1.2.1 Fáze experimentální práce	9
1.2.2 Závěrečná zpráva o experimentální práci	10
1.2.3 Zpráva o školní experimentální práci	12
1.3 Předpisy pro experimentální práci v technice prostředí	13
1.3.1 Předpisy pro měření	13
1.3.2 Bezpečnost práce	13
1.3.3 Požární ochrana	14
1.4 Měření	14
1.4.1 Přesnost a správnost měření	15
1.4.2 Rozdělení měření	15
1.5 Zpracování výsledků měření	16
1.5.1 Zpracování měření nezávislých veličin	16
1.5.2 Zpracování měření závislých veličin	17
1.6 Chyby a nejistoty měření	23
1.6.1 Přímá měření	23
1.6.2 Nepřímá měření	25
<b>2. MĚŘENÍ FYZIKÁLNÍCH VELIČIN V TECHNICE PROSTŘEDÍ</b>	<b>26</b>
2.1 Měření teplot	26
2.1.1 Dilatační teploměry	26
2.1.2 Tlakové teploměry	28
2.1.3 Odporové teploměry	28
2.1.4 Termoelektrické teploměry	29
2.1.5 Krystalové teploměry	30
2.1.6 Dotykové teploměry	30
2.1.7 Radiační teploměry	30
2.1.8 Ochrana a zabudování teploměrů	31
2.2 Měření tlaků	32
2.2.1 Kapalinové tlakoměry	32
2.2.2 Deformační tlakoměry	34
2.2.3 Připojení tlakoměrů	36
2.3 Měření vlhkosti	37
2.3.1 Dilatační vlhkoměry	37
2.3.2 Psychrometry	38
2.3.3 Vlhkoměry na principu rosného bodu	40
2.3.4 Elektrolytické vlhkoměry	41
2.4 Měření rychlostí proudění	42
2.4.1 Mechanické anemometry	42
2.4.2 Termoanemometry	43
2.4.3 Dynamické rychlostní sondy	45

2.4.4	Katateploměry	47
2.4.5	Laserové anemometry	48
2.5	Měření průtoků	50
2.5.1	Objemová měřidla	50
2.5.2	Měřidla se škrticími prvky	51
2.5.3	Plovákové průtokoměry	53
2.5.4	Rychlostní průtokoměry	53
2.5.5	Stanovení průtoků měřením rychlostí	54
2.6	Měření tepelných toků	55
2.6.1	Měření tepelných toků při přenosu tepla vedením	55
2.6.2	Měření tepelných toků a součinitele přestupu tepla při konvekci	56
2.6.3	Měření tepelných toků při přenosu tepla zářením	59
2.7	Měření znečištění ovzduší	59
2.7.1	Hodnocení znečištění ovzduší	60
2.7.2	Měření prašnosti	61
2.7.3	Měření plynných škodlivin	63
2.8	Měření hluku	65
2.8.1	Metody měření hluku strojů	67
2.8.2	Metody měření hluku v místech pobytu osob	69
2.8.3	Přístroje pro měření hluku	69
2.9	Měření světelných veličin	70
2.9.1	Základní fotometrické veličiny	70
2.9.2	Přístroje pro měření fotometrických veličin	71
2.10	Měření ionizujícího záření	72
2.10.1	Dozimetrické veličiny	73
2.10.2	Přístroje pro měření ionizujícího záření	74
2.11	Měření tepelného stavu mikroklimatu	76
2.11.1	Měření střední radiační teploty	76
2.11.2	Měření asymetrie radiační teploty	78
2.11.3	Metody hodnocení výsledného tepelného stavu mikroklimatu	80
2.11.4	Přístroje pro hodnocení výsledného tepelného stavu mikroklimatu	82
2.12	Provozní měření rotačních strojů	84
2.12.1	Měření proudového zatížení elektromotoru	84
2.12.2	Měření otáček	85
2.12.3	Měření vibrací	87
	<b>3. VIZUALIZAČNÍ METODY</b>	<b>90</b>
3.1	Vizualizace proudění zaváděním látek do tekutiny a sledováním obtékaných povrchů	90
3.1.1	Zavádění částic do tekutiny	91
3.1.2	Zavádění látek tvořících souvislá vlákna	92
3.1.3	Indikátory směru proudu	93
3.1.4	Metoda PIV	94
3.2	Optické vizualizační metody	95
3.2.1	Stínové metody	96
3.2.2	Clonkové metody	98
3.2.3	Interferometrie	98
3.2.4	Holografie	102
3.3	Vizualizace teplotních polí na povrchu těles	104
3.3.1	Tekuté krystaly	105
3.3.2	Termovize	105

<b>4. MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH VELIČIN</b>	<b>106</b>
4.1 Měření napětí	106
4.1.1 Výhylková metoda měření napětí	106
4.1.2 Kompenzační metoda měření napětí	107
4.1.3 Úpravy napětí	107
4.2 Měření proudu	108
4.2.1 Výhylková metoda měření proudu	109
4.2.2 Kompenzační metoda měření proudu	109
4.2.3 Úpravy proudu	109
4.3 Měření odporu, kapacity a indukčnosti	110
4.3.1 Výhylkové metody měření	110
4.3.2 Můstkové metody měření	110
4.4 Měření frekvence	112
4.5 Měřicí řetězec	113
4.6 Digitální a analogové signály	113
4.6.1 Digitalizace signálu	113
4.6.2 Hlavní principy AD převodníků	115
4.6.3 Volba zařízení pro digitalizaci signálu dle charakteru měření	116
4.7 Zesilovače	117
4.7.1 Napěťové a nábojové předzesilovače	118
4.8 Filtry	119
4.8.1 Digitální filtrace signálu	120
4.8.2 Elektrické kmitočtové filtry	121
4.9 Kmitočtová analýza a FFT	122
4.10 Osciloskopy	124
4.11 Multimetry	125
<b>5. VLASTNOSTI SNÍMAČŮ A MĚŘICÍCH ZAŘÍZENÍ</b>	<b>126</b>
5.1 Technické parametry senzorů	126
5.1.1 Statické vlastnosti senzorů	126
5.1.2 Dynamické vlastnosti senzorů	130
5.2 Vybrané metody zmenšení chyb senzorů	132
5.2.1 Metoda kompenzačního senzoru	133
5.2.2 Metoda diferenčního senzoru	134
5.2.3 Metoda zpětnovazebního senzoru	135
5.2.4 Metoda sériového zapojení linearizačního členu	136
5.2.5 Metody linearizace při číslicovém zpracování signálu	137
5.2.6 Metoda automatické kalibrace	138
5.2.7 Metoda filtrace	138
5.2.8 Metoda posunu spektra	138
5.2.9 Metoda korekce dynamické chyby senzoru	141
5.3 Volba měřicích zařízení z hlediska jejich elektromagnetické kompatibility	142
5.3.1 Testování elektromagnetické odolnosti měřicího systému	142
5.3.2 EMC měřicího systému na bázi počítače PC	143
5.3.3 Stanovení odolnosti systému proti rušení	143
5.3.4 Normalizace v oblasti EMC	143
5.3.5 Ochrana systémů před elektromagnetickým rušením	145
5.3.6 Ochrana měřicích systémů před elektromagnetickým rušením	147
<b>6. POČÍTAČOVÉ MĚŘICÍ A ŘÍDICÍ SYSTÉMY</b>	<b>148</b>
6.1 Uspořádání měření	148

6.2 Rozdělení měřicích a řídicích systémů	148
6.3 Měřicí systémy složené z autonomních přístrojů	154
6.3.1 Měřicí systémy podle standardu IEEE 488 (GPIB)	154
6.3.2 Měřicí systémy využívající rozhraní RS-232C	157
6.4 Distribuované měřicí a řídicí systémy	160
6.4.1 Sběrnice RS 485 a zařízení pro tuto sběrnici	161
6.5 Měřicí systémy se zásuvnými moduly	162
6.5.1 Zásuvné desky do PC	163
6.6 Moduly úpravy signálu	167
6.7 Řídicí počítače měřicích systémů	168
6.8 Mobilní měřicí systémy	173
6.9 Stručná charakteristika a porovnání jednotlivých druhů měřicích systémů	174
<b>7. SOFTWAREVÉ NÁSTROJE PRO MĚŘICÍ A ŘÍDICÍ SYSTÉMY</b>	<b>178</b>
7.1 Vývojové prostředí a integrované programy	178
7.1.1 Vývojový systém LabVIEW	178
7.1.2 Použití programu Control Panel	182
7.1.3 Měřicí program DISYS	183
7.2 Tvorba systému ve vyšším programovacím jazyce	183
7.2.1 Tvorba systému pro operační systém MS DOS	185
7.2.2 Tvorba systému pro operační systém MS Windows	193
7.3 Softwarová regulace (PID)	195
<b>8. PŘÍLOHY</b>	<b>196</b>
8.1 Vlastnosti vlhkého vzduchu	196
8.2 Vlastnosti syté kapaliny a syté páry H <sub>2</sub> O	198
8.3 i - x diagram vlhkého vzduchu	200
8.4 Vlastnosti suchého vzduchu	201
8.5 Vlastnosti vody	201
8.6 Vlastnosti rtuti	202
8.7 Hustota ethylalkoholu v závislosti na teplotě	202
8.8 Formulář pro záznam údajů při měření hluku	203
8.9 Formulář pro záznam výsledků měření tepelné zátěže v horkém prostředí	204
8.10 Formulář protokolu o měření a seřízení vzduchotechnického zařízení	205
8.11 Tabulka napětí termočlánků	206
8.12 Tabulky linearizací termočlánků	209
8.13 Tabulka hodnot měřicího odporu Pt 100	210
8.14 Tabulka hodnot měřicího odporu Ni 100	210
8.15 Tabulky parametrů měřicích karet	211
8.16 Tabulka parametrů externích měřicích modulů	212
<b>9. LITERATURA</b>	<b>213</b>