

Olga Tůmová

Metrologie a hodnocení procesů

Praha 2009



Publikace pojednává o teoretických problémech měření, metrologii a hodnocení procesů měřicích, technologických nebo výrobních. Úvod je věnován obecné problematice měření, dále je uveden přehled charakteristik náhodných procesů. Publikace zorientuje čtenáře v oblasti legální i praktické metrologie. Samostatná kapitola je věnována přehledu chyb a nejistot, které jsou nezbytným doplňkem při zpracování výsledků měření. Dále jsou uvedeny hlavní principy, které se používají při návrhu, měření a vyhodnocení experimentů. Část publikace je věnována moderním metodám hodnocení procesů jak technologických nebo výrobních, tak procesů měření i s ohledem na statistický výběr a hodnocení vzorků.

Publikace je určena zejména studentům na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni, ale je vhodná i pro širokou odbornou veřejnost, která se zabývá kvalitou na kterémkoliv stupni měřicího, technologického nebo výrobního procesu.

Recenzenti:

Doc. Ing. Jan Holub, PhD.

Olga Tůmová

Metrologie a hodnocení procesů

Bez předchozího písemného svolení nakladatelství nesmí být kterákoli část kopírována nebo rozmnožována jakoukoli formou (tisk, fotokopie, mikrofilm nebo jiný postup), zadána do informačního systému nebo přenášena v jiné formě či jinými prostředky.

Autorka a nakladatelství nepřijímají záruku za správnost tištěných materiálů. Předkládané informace jsou zveřejněny bez ohledu na případné patenty třetích osob. Nároky na odškodnění na základě změn, chyb nebo vynechání jsou zásadně vyloučeny.

Všechny registrované nebo jiné obchodní známky použité v této knize jsou majetkem jejich vlastníků. Uvedením nejsou zpochybněna z toho vyplývající vlastnická práva.

Veškerá práva vyhrazena

© Doc. Ing. Olga Tůmová, CSc. Plzeň 2009

© Nakladatelství BEN – technická literatura, Věšínova 5, Praha 10

Olga Tůmová: Metrologie a hodnocení procesů

BEN – technická literatura, Praha 2009

1. vydání

ISBN 978-80-7300-249-7

Obsah

1	OBECNÉ A TEORETICKÉ PROBLÉMY MĚŘENÍ	11
1.1	Signál a informace	12
1.2	Měření a neurčitost	13
1.3	Model procesu měření a měřicího systému	16
1.4	Základní úlohy měření	17
	Literatura kapitola 1	19
2	ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY NÁHODNÝCH PROCESŮ	21
2.1	Distribuční funkce	22
2.2	Hustota pravděpodobnosti	23
2.3	Momenty obecné	24
2.4	Momenty centrální	25
2.5	Momenty normované	26
2.6	Charakteristiky spojených rozdělení	27
2.6.1	Normální (Laplace-Gaussovo) rozdělení	27
2.6.2	Normované normální rozdělení	29
2.6.3	Rovnoměrné rozdělení spojitě	30
2.6.4	Logaritmicko-normální rozdělení	31
2.6.5	Exponenciální rozdělení	33
2.6.6	Dvojitě exponenciální (Laplace) rozdělení	35
2.6.7	Weibullovo rozdělení	36
2.6.8	Rayleighovo rozdělení	38
2.6.9	Rozdělení gama	39
2.6.10	Rozdělení χ^2	40
2.6.11	Rozdělení beta	41
2.6.12	Rozdělení t (Studentovo)	42
2.6.13	Rozdělení F (Fisherovo-Snedecorovo)	43
2.6.14	Cauchyho rozdělení	44
2.6.15	Maxwellovo rozdělení	44

2.6.16	Paretovo rozdělení	45
2.7	Charakteristiky diskrétních rozdělení	46
2.7.1	Binomické rozdělení	46
2.7.2	Alternativní (Bernoulliho) rozdělení	49
2.7.3	Negativní binomické rozdělení	49
2.7.4	Geometrické rozdělení	51
2.7.5	Poissonovo rozdělení	52
2.7.6	Hypergeometrické rozdělení	54
2.7.7	Rovnoměrné diskrétní rozdělení	55
	Literatura kapitola 2	56

3 METROLOGIE – VĚDA O MĚŘENÍ 57

3.1	Členění metrologie	58
3.2	Organizace působící v oblasti metrologie ČR a jejich hlavní úkoly	60
3.3	Legislativní a technické dokumenty v metrologii	61
3.3.1	Zákony	61
3.3.2	Vyhlášky Ministerstva průmyslu a obchodu	63
3.3.3	Normy ČSN z oblasti metrologie	65
3.3.4	Nařízení vlády	65
3.3.5	Rezortní předpisy z oblasti metrologie	65
3.4	Terminologie v metrologii	66
3.5	Metrologie a řízení kvality ve výrobním procesu a službách	68
3.5.1	Zákony a nařízení vlády	68
3.5.2	Normy ČSN pro zabezpečování kvality	72
3.5.2.1	Normy řady ISO 9000	72
3.5.2.2	Další související normy	73
3.5.3	Podniková metrologie	75
3.5.4	Metrologická pracoviště	79
3.5.5	Povinnosti pracovníků a odborných útvarů	80
3.6	Veličiny a jednotky	81
3.6.1	Fyzikální veličiny	81
3.6.2	Technické veličiny	84
3.7	Měřicí metody	85
3.8	Principy etalonáže	86
3.8.1	Základní pojmy	86

3.8.2	Návaznost etalonů a měřidel	88
3.8.3	Etalonáž základních jednotek SI soustavy	89
3.8.3.1	Etalonáž délky	90
3.8.3.2	Etalonáž hmotnosti	90
3.8.3.3	Etalonáž času	90
3.8.3.4	Etalonáž elektrických veličin	92
3.8.3.5	Etalonáž teploty	94
3.8.3.6	Etalonáž svítivosti	96
3.9	Ověřování a kalibrace měřidel	96
3.9.1	Ověřování měřidel	96
3.9.2	Kalibrace měřidel	98
	Literatura kapitola 3	101
4	CHYBY A NEJISTOTY MĚŘENÍ	103
4.1	Přesnost měření a měřicích přístrojů	104
4.1.1	Rozdělení chyb podle příčiny vzniku	104
4.1.2	Rozdělení chyb podle zdrojů	105
4.1.3	Rozdělení chyb podle způsobu výskytu	105
4.1.4	Vyhodnocení náhodných chyb $N(0, \sigma^2)$	106
4.2	Chyby měření	107
4.2.1	Chyby naměřených hodnot	107
4.2.2	Chyby přímých měření	108
4.2.3	Chyby nepřímých měření	109
4.2.4	Výsledky opakovaných měření	110
4.3	Měřicí přístroje analogové a digitální	111
4.3.1	Chyby analogových přístrojů	111
4.3.2	Chyby digitálních přístrojů	113
4.3.3	Ostatní elektrické měřicí přístroje	115
4.4	Nejistoty měření	116
4.4.1	Standardní nejistota u_A	116
4.4.2	Standardní nejistota u_B	118
4.4.3	Kombinovaná standardní nejistota – u_C	120
4.4.4	Rozšířená (celková) standardní nejistota – U	120
4.5	Závěr	123
	Literatura kapitola 4	125

5	TEORIE A VYHODNOCOVÁNÍ EXPERIMENTŮ	127
5.1	Průzkumová analýza dat	130
5.2	Určování odlehých hodnot	132
5.2.1	Test $\pm 4s$	133
5.2.2	Test Dixonův	133
5.2.3	Test Grubbsův (při neznámé směrodatné odchylce)	133
5.2.4	Test při známé směrodatné odchylce	134
5.2.5	Test David-Hartleyho	134
5.2.6	Test Shapiro-Wilksův	134
5.3	Statistické charakteristiky	135
5.3.1	Charakteristiky polohy	135
5.3.2	Charakteristiky variability	138
5.3.3	Charakteristiky šikmosti	139
5.3.4	Charakteristiky špičatosti	140
5.4	Problematika malých výběrů	141
5.5	Testování hypotéz	144
5.5.1	Testy významnosti	145
5.5.2	Testy hypotéz pro parametry μ a σ^2 normálního rozdělení $N(\mu, \sigma^2)$ jednoho souboru	147
5.5.3	Testy hypotéz o rovnoměrnosti parametrů normálního rozdělení $N(\mu, \sigma^2)$ dvou souborů	148
5.5.4	Testy parametrů více než dvou souborů	150
5.6	Tvorba experimentů	151
5.6	Faktorová organizace pokusů	157
5.6.1	Jednofaktorový experiment	160
5.6.2	Dvoufaktorový experiment	161
5.6.3	Třífaktorový experiment	162
5.6.4	Přehled dalších typů experimentů	163
5.7	Analýza rozptylu	165
5.7.1	Analýza rozptylu – jednofaktorový experiment	166
5.7.2	Analýza rozptylu – dvoufaktorový experiment	167
5.6.3	Analýza rozptylu – třífaktorový experiment	170
5.8	Metody mnohonásobných porovnávání	172
5.8.1	Scheffého metoda	172
5.8.2	Tukeyova metoda	174

5.9	Opakovatelnost a reprodukovatelnost měření v laboratořích ..	174
	Literatura kapitola 5	178
6	STATISTICKÉ ŘÍZENÍ KVALITY PROCESŮ	179
6.1	Charakteristika a princip statistické regulace	180
6.2	Typy regulačních diagramů	184
6.2.1	Shewhartovy regulační diagramy	184
6.2.2	Regulační diagramy pro aritmetický průměr s výstražnými mezemi	187
6.2.3	Přejímací regulační diagramy	188
6.2.4	Diagramy CUSUM	188
6.3	Hodnocení způsobilosti a výkonnosti procesů	188
6.3.1	Ukazatel způsobilosti PCI	189
6.3.2	Ukazatelé způsobilosti C_p , C_{pk} a C_{pm}	190
6.3.3	Ukazatelé výkonnosti P_p a P_{pk}	193
6.4	Bootstrapping a konfidenční intervaly	194
	Literatura kapitola 6	200
7	MĚŘICÍ PROCESY A JEJICH ANALÝZA	201
7.1	Systém managementu měření	202
7.1.1	Proces měření	203
7.1.2	Měřicí a zkušební zařízení (M&TE)	204
7.1.3	Metrologická confirmace	204
7.2	Požadavky	205
7.3	Analýza systému měření	206
7.3.1	Základní pojmy a charakteristiky	207
7.3.2	Kombinované charakteristiky	212
7.4	Závěr	219
	Literatura kapitola 7	220
	REJSTŘÍK	221
	KNIHY NAKLADATELSTVÍ BEN – TECHNICKÁ LITERATURA	229