

OBSAH

Summary – Volume I	5
Předmluva – Díl I.....	6

DÍL I. PROVOZNÍ MĚŘENÍ

Část I. Úvod měření a řízení procesů

1 Úvod do problematiky měření a řízení (Karel Kadlec, Jiří Macháč)	18
1.1 Měření a řízení – základní pojmy a označování	18
1.1.1 Úkoly měření a řízení	18
1.1.2 Základní pojmy z měření a regulace	19
1.1.3 Zásady kreslení blokových schémat	20
1.1.4 Označování měřicích a řídicích obvodů v technologických schématech	21
1.2 Provozní měřicí přístroje a jejich vlastnosti	28
1.2.1 Provozní měřicí přístroje	28
1.2.2 Rozdělení senzorů.....	30
1.2.3 Snímače a převodníky	31
1.2.4 Dataloggery měřených veličin	32
1.2.5 Inteligentní snímače a převodníky.....	34
1.2.6 Bezdrátové snímače	37
1.2.7 Přístroje do prostředí s nebezpečím výbuchu	39
1.2.8 Virtuální instrumentace.....	40
1.2.9 Charakteristické vlastnosti měřicích přístrojů.....	43
1.3 Nejistoty měření.....	46
1.3.1 Základní principy a zásady	46
1.3.2 Stanovení standardních nejistot.....	48
1.3.2.1 Stanovení standardních nejistot při přímém měření	48
1.3.2.2 Stanovení standardních nejistot při nepřímém měření jedné veličiny	51
1.3.2.3 Stanovení rozšířených nejistot	53
1.3.2.4 Všeobecné zásady pro vyjadřování nejistot	53
1.3.2.5 Doprovodné informace k údajům o nejistotách.....	53
1.4 Kontrola správnosti měření a kalibrace snímačů.....	54
2 Měření a sběr dat pomocí počítače (Dušan Kopecký, Karel Kadlec).....	58
2.1 Internet věcí a Průmysl 4.0.....	59
2.2 Počítače pro informační a průmyslové sítě.....	60
2.3 Komunikace v informačních i průmyslových sítích	62
2.3.1 Referenční model ISO/OSI	63
2.3.2 Základní charakteristiky sběrnice	64
2.3.2.1 Definice sběrnice a základní pojmy	64
2.3.2.2 Topologie sběrnice	66
2.3.2.3 Rychlost přenosu dat	67
2.3.2.4 Kódování přenosu dat.....	67
2.3.3 Sběrnice osobního počítače.....	68
2.3.3.1 Standard RS-232C (sériový port).....	68
2.3.3.2 Sběrnice Universal Serial Bus (USB)	73
2.3.3.3 Sběrnice Peripheral Component Interconnect (PCI)	76
2.3.3.4 Sběrnice Peripheral Component Interconnect Express (PCI Express)	78
2.3.3.5 Sběrnice Ethernet	79
2.3.3.6 Bezdrátový standard IEEE 802.11 (Wi-Fi)	82
2.3.3.7 Bezdrátová sběrnice Bluetooth.....	83
2.3.4 Sběrnice pro průmyslovou automatizaci	84
2.3.4.1 Sběrnice RS-422, RS-423 a RS-485	84
2.3.4.2 Sběrnice Controller Area Network (CAN).....	85
2.3.4.3 Sběrnice DeviceNet.....	87
2.3.4.4 Sběrnice General Purpose Interface Bus (GPIB)	87
2.3.4.5 Sběrnice Meter-Bus (M-Bus)	88
2.3.4.6 Sběrnice Process Field Bus (Profibus).....	89
2.3.4.7 Bezdrátová sběrnice Wireless Meter-Bus (Wireless M-Bus)	90
2.3.4.8 Bezdrátový standard IEEE 802.15.4 a ZigBee	90
2.3.5 Průmyslový Ethernet	92
2.3.6 Proudová smyčka	94
2.3.7 Komunikační protokol HART	95
2.3.8 Komunikační standard IO-Link	96

2.3.9	JUMO digiLine	97
2.3.10	Převodníky mezi sběrnicemi	98
2.4	Multifunkční systémy pro sběr dat	99
2.4.1	Multifunkční karty	99
2.4.2	Modulární systémy pro sběr dat	100
2.5	Software pro sběr a zpracování dat	101
2.5.1	Operační systémy	101
2.5.2	Ovladače a software	102
2.5.3	Vývojová prostředí	103
2.6	Závěr	105

Část II. Měření technologických veličin

3	Měření teploty (Karel Kadlec)	109
3.1	Dotykové snímače teploty	110
3.1.1	Teploměry dilatační	110
3.1.2	Termoelektrické teploměry	113
3.1.2.1	Měřicí obvody termoelektrických snímačů	116
3.1.3	Odporové snímače teploty	118
3.1.3.1	Kovové odporové teploměry	118
3.1.3.2	Polovodičové odporové teploměry	122
3.1.3.3	Měřicí obvody pro vyhodnocování signálu odporových teploměrů	123
3.1.4	Zpracování signálů elektrických teploměrů	125
3.1.5	Zabudování dotykových teploměrů	131
3.1.6	Kalibrace dotykových snímačů teploty	133
3.2	Speciální teploměry	134
3.3	Bezdotykové snímače teploty	136
3.3.1	Teoretické základy bezdotykového měření teploty	136
3.3.2	Uspořádání IČ teploměru a termokamery	142
3.3.2.1	Bezdotykové teploměry	142
3.3.2.2	Optický systém bezdotykového teploměru	144
3.3.2.3	Vlivy působící při měření bezdotykovými teploměry	145
3.3.3	Termokamery a termografie	147
3.3.3.1	Termokamera	147
3.3.3.2	Termografické měření	151
3.3.3.3	Termogram a jeho vyhodnocení	153
3.3.4	Kalibrační kontrola bezdotykových teploměrů	155
3.3.5	Aplikační možnosti IČ teploměrů a termokamer	156
4	Měření tlaku (Karel Kadlec)	163
4.1	Hydrostatické tlakoměry	166
4.2	Tlakoměry se silovým účinkem	167
4.3	Deformační tlakoměry	168
4.4	Snímače tlaku s elektrickým výstupem	170
4.4.1	Převod signálu deformačního prvku na elektrický signál	170
4.4.2	Tlakoměry s potenciometrickým a indukčnostním senzorem polohy	171
4.4.3	Kapacitní snímače tlaku	171
4.4.3.1	Princip kapacitního čidla	171
4.4.3.2	Keramická membrána	173
4.4.3.3	Provozní snímače s kapacitním čidlem	173
4.4.4	Snímače tlaku s odporovými tenzometry	176
4.4.4.1	Princip odporového tenzometru	176
4.4.4.2	Měřicí členy s polovodičovými tenzometry	177
4.4.4.3	Provozní snímače s piezorezistory	180
4.4.5	Piezoelektrické snímače tlaku	183
4.4.5.1	Piezoelektrický jev	183
4.4.5.2	Konstrukce piezoelektrického snímače tlaku	184
4.4.6	Rezonanční snímače tlaku	185
4.4.6.1	Princip rezonančních snímačů	185
4.4.6.2	Mikromechanický rezonanční senzor	186
4.4.7	Inteligentní snímače tlaku	187
4.4.8	Elektrické tlakoměry pro extrémní tlaky	189
4.5	Zabudování provozních tlakoměrů	190
4.6	Kalibrace provozních snímačů tlaku	192
4.7	Výběr vhodného typu snímače tlaku	194

5	Měření hladiny (Karel Kadlec)	199
5.1	Mechanické hladinoměry	201
5.1.1	Jednoduchá mechanická měřidla	201
5.1.2	Hladinoměry založené na měření hmotnosti	202
5.1.3	Plovákové hladinoměry	202
5.1.3.1	Plovákové spínače	203
5.1.3.2	Plováky s vodící tyčí	204
5.1.3.3	Překlápěcí plovákové spínače	205
5.1.3.4	Plovákové hladinoměry s magnetostrikčním senzorem	205
5.1.3.5	Obtokový plovákový hladinoměr	206
5.1.3.6	Uplatnění plovákových hladinoměrů a spínačů	207
5.1.4	Hladinoměry vztlakové	207
5.1.5	Elektromechanické hladinoměry	208
5.1.6	Vibrační spínače hladiny	209
5.1.6.1	Princip a konstrukce vibračního spínače hladiny	209
5.1.6.2	Uplatnění vibračních spínačů hladiny	210
5.1.6.3	Instalace a montáž vibračních spínačů hladiny	211
5.1.7	Lopatkové spínače hladiny	212
5.2	Hydrostatické hladinoměry	213
5.2.1	Připojení snímačů hydrostatického tlaku	215
5.2.1.1	Měření v otevřené nádobě	215
5.2.1.2	Měření v uzavřené nádobě	215
5.2.1.3	Měření s membránovými oddělovači	218
5.2.1.4	Měření s ponornou sondou	218
5.2.1.5	Měření s probubláváním	219
5.2.2	Vlastnosti a využití hydrostatických hladinoměrů	221
5.3	Elektrické hladinoměry	221
5.3.1	Vodivostní hladinoměry a spínače	222
5.3.2	Kapacitní hladinoměry a spínače hladiny	223
5.3.2.1	Princip funkce kapacitního snímače hladiny	223
5.3.2.2	Vlastnosti měřeného média	224
5.3.2.3	Elektrody kapacitních snímačů	226
5.3.2.4	Umístění elektrod v technologických aparátech	229
5.3.2.5	Vyhodnocovací obvody	231
5.3.2.6	Uplatnění kapacitních hladinoměrů a spínačů	232
5.4	Tepelné spínače hladiny	233
5.5	Optické hladinoměry	233
5.5.1	Transmisní snímače	233
5.5.2	Reflexní snímače	234
5.5.3	Refrakční snímače	234
5.6	Ultrazvukové hladinoměry	235
5.6.1	Vlastnosti ultrazvuku	235
5.6.2	Principy ultrazvukových hladinoměrů	236
5.6.2.1	Spojité měření výšky hladiny	236
5.6.2.2	Ultrazvukové spínače hladiny	239
5.6.3	Montáž ultrazvukových hladinoměrů	239
5.6.4	Použití ultrazvukových hladinoměrů	241
5.6.5	3D skener sypkých látek	241
5.7	Radarové hladinoměry	243
5.7.1	Permitivita a šíření mikrovln	243
5.7.2	Bezkontaktní radarové hladinoměry	243
5.7.2.1	Pulzní radarový hladinoměr	244
5.7.2.2	Radar s rozmítaným spojitým signálem	244
5.7.2.3	Antény radarových hladinoměrů	245
5.7.2.4	Instalace radarových hladinoměrů	248
5.7.3	Kontaktní radarové hladinoměry	250
5.7.4	Použití radarových hladinoměrů	253
5.8	Radioizotopové hladinoměry	253
5.8.1	Radioaktivní zářiče a detektory záření	254
5.8.2	Použití radioizotopových hladinoměrů	254
5.9	Výběr snímače hladiny	255

6	Měření průtoku a proteklého množství (Karel Kadlec)	260
6.1	Pojmy a definice z oblasti měření průtoku	260
6.2	Klasifikace snímačů průtoku a proteklého množství	262
6.3	Objemová měřidla.....	264
6.4	Rychlostní měřidla.....	266
6.4.1	Průtokoměry s měřením rozdílu tlaků	266
6.4.1.1	Rychlostní sondy.....	266
6.4.1.2	Průřezová měřidla.....	267
6.4.1.3	Laminární (kapilární) průtokoměry	271
6.4.2	Plováčkové průtokoměry – průtokoměry s proměnlivým průřezem.....	272
6.4.2.1	Princip funkce.....	272
6.4.2.2	Závislost údaje na hustotě a viskozitě.....	274
6.4.2.3	Konstrukční provedení	274
6.4.2.4	Instalace plováčkových průtokoměrů	276
6.4.2.5	Vlastnosti plováčkových průtokoměrů	277
6.4.2.6	Použití plováčkových průtokoměrů	277
6.4.3	Náporová měřidla – pružinové a terčíkové průtokoměry	278
6.4.4	Průtokoměry turbínové a lopátkové	280
6.4.5	Indukční průtokoměry.....	282
6.4.5.1	Princip indukčního průtokoměru	282
6.4.5.2	Konstrukce indukčního průtokoměru	284
6.4.5.3	Vliv měřeného média na výsledky měření	287
6.4.5.4	Vlastnosti indukčního průtokoměru	288
6.4.5.5	Použití indukčního průtokoměru	290
6.4.6	Ultrazvukové průtokoměry.....	292
6.4.6.1	Rozdělení ultrazvukových průtokoměrů.....	292
6.4.6.2	Průtokoměry s vyhodnocením doby průchodu signálu	292
6.4.6.3	Průtokoměry využívající Dopplerův jev.....	294
6.4.6.4	Průtokoměry se zásuvnými a příložitými snímači.....	295
6.4.6.5	Několikakanálové ultrazvukové průtokoměry	296
6.4.6.6	Vlastnosti ultrazvukových průtokoměrů	297
6.4.6.7	Použití ultrazvukových průtokoměrů	298
6.4.7	Vírové průtokoměry.....	301
6.4.7.1	Princip vírového průtokoměru	301
6.4.7.2	Uspořádání vírového průtokoměru	302
6.4.7.3	Vlastnosti vírového průtokoměru.....	305
6.4.7.4	Použití vírových průtokoměrů.....	309
6.5	Měření průtoku v otevřených kanálech	311
6.5.1	Měřicí přepady.....	311
6.5.2	Měřicí žlaby	313
6.5.3	Alternativní snímače pro měření průtoku v otevřených kanálech	314
6.6	Hmotnostní průtokoměry	316
6.6.1	Metody měření hmotnostního průtoku.....	316
6.6.2	Coriolisovy průtokoměry	316
6.6.2.1	Princip Coriolisova průtokoměru.....	317
6.6.2.2	Měřicí trubice.....	319
6.6.2.3	Elektronické řídicí a vyhodnocovací obvody.....	319
6.6.2.4	Vlastnosti a použití Coriolisových průtokoměrů.....	320
6.6.3	Tepelné průtokoměry.....	323
6.6.3.1	Hmotnostní termoanemometr	323
6.6.3.2	Kalorimetrický hmotnostní průtokoměr	326
6.7	Kalibrace průtokoměrů	327
6.8	Výběr vhodného typu snímače průtoku	328
7	Měření množství tepla (Karel Kadlec)	335
7.1	Princip měřičů přeneseného tepla	335
7.2	Měření tepla přenášeného kapalným médiem.....	335
7.3	Měření tepla přenášeného vodní párou	339
7.4	Použití měřičů tepla.....	340
8	Měření hmotnosti – průmyslová vážicí technika (Michal Mikulec, Karel Kadlec)	342
8.1	Přesnost vážení	343
8.2	Snímače zatížení.....	343
8.3	Diskontinuální váhy	344
8.3.1	Plošinové váhy	345

8.3.2	Zásobníkové váhy	346
8.3.3	Váhy ve válečkových traťích	347
8.3.4	Váhy pro silniční a kolejová vozidla	348
8.3.4.1	Váhy pro silniční vozidla	348
8.3.4.2	Váhy pro kolejová vozidla	349
8.3.4.3	Elektronické vyhodnocovací jednotky vah	350
8.3.4.4	Software pro silniční a kolejové váhy	350
8.4	Kontinuální váhy	351
8.4.1	Pásové váhy	352
8.4.2	Průtokoměry sypkých hmot se skluzovou nebo odraznou deskou	354
8.4.3	Průtokoměry sypkých hmot na Coriolisově principu	355
8.4.4	Vyhodnocovací jednotky pro kontinuální váhy	355
8.5	Kontinuální dávkování	356
8.5.1	Dávkovací pásové váhy	357
8.5.2	Diferenční dávkovací váhy	358
8.5.3	Vyhodnocovací a řídicí systémy pro dávkovací váhy	359
9	Měření vlhkosti (Dušan Kopecký, Karel Kadlec)	362
9.1	Vyjadřování vlhkosti	362
9.2	Měření vlhkosti v plynech	364
9.2.1	Psychrometrické vlhkoměry	364
9.2.2	Sorpční vlhkoměry	365
9.2.2.1	Dilatační vlhkoměry	366
9.2.2.2	Odporové vlhkoměry	366
9.2.2.3	Kapacitní vlhkoměry	367
9.2.2.4	Rezonanční vlhkoměry	370
9.2.3	Vlhkoměry kondenzační	371
9.2.4	Coulometrický vlhkoměr	373
9.2.5	IČ vlhkoměry a mikrovlnné vlhkoměry	373
9.3	Měření vlhkosti v pevných látkách	375
9.3.1	Chemické metody	375
9.3.2	Gravimetrické metody	376
9.3.3	Metody založené na měření elektrických veličin	378
9.3.3.1	Odporové metody	378
9.3.3.2	Kapacitní metody	379
9.3.4	Spektrometrické metody	380
9.3.4.1	Infračervená absorpce a reflexe	380
9.3.4.2	Snímače vlhkosti na bázi mikrovlnné spektroskopie	382
9.3.5	Nukleární magnetická rezonance	385
9.3.6	Neutronová moderační metoda	387
9.3.7	Metoda časové reflektometrie	387
9.4	Použití vlhkoměrů	388
10	Měření složení (Tomáš Bartovský, Karel Kadlec, Pavel Kadlec)	391
10.1	Obecně o analyzátoch složení	391
10.1.1	Funkční principy samočinných analyzátorů	391
10.1.2	Charakteristické vlastnosti analyzátorů složení	392
10.2	Měření složení kapalných směsí	394
10.2.1	Snímače hustoty kapalin	394
10.2.1.1	Hydrostatické hustoměry	394
10.2.1.2	Ultrazvukové hustoměry	395
10.2.1.3	Vibrační hustoměry	398
10.2.1.4	Kombinované snímače hustoty a rychlosti zvuku	403
10.2.1.5	Radiační hustoměry	404
10.2.1.6	Mikrovlnné hustoměry	406
10.2.1.7	Další principy využívané k měření hustoty	409
10.2.1.8	Možnosti využití snímačů hustoty	410
10.2.2	Optické snímače	411
10.2.2.1	Refraktometrické snímače	411
10.2.2.2	Snímače zákalu – turbidimetry a nefelometry	416
10.2.2.3	Polarimetry	422
10.2.2.4	Optický senzor rozpuštěného kyslíku	426
10.2.3	Infračervené analyzátoch pro kapaliny	430
10.2.3.1	Infračervené spektrometry s Fourierovou transformací	430
10.2.3.2	Infračervené analyzátoch s odrazem záření	432

10.2.4	Snímače viskozity	433
10.2.4.1	Vnitřní tření tekutin – viskozita	433
10.2.4.2	Viskozimetry	436
10.2.5	Snímače elektrolytické vodivosti kapalin	446
10.2.5.1	Teoretický základ	446
10.2.5.2	Konstanta měřicí cely snímače	448
10.2.5.3	Měřicí metody a konstrukce snímačů	448
10.2.5.4	Možnosti aplikace vodivostních snímačů	451
10.2.6	Elektrochemické snímače	453
10.2.6.1	Ampérometrické snímače	453
10.2.6.2	Potenciometrické snímače	455
10.2.6.3	Polovodičové senzory pH	460
10.2.6.4	Snímače oxidačně-redukčního potenciálu (ORP)	461
10.3	Měření složení plyných směsí	463
10.3.1	Tepelně-vodivostní analyzátory	463
10.3.1.1	Tepelná vodivost	463
10.3.1.2	Tepelná vodivost směsi plynů	464
10.3.1.3	Měřicí metoda	465
10.3.1.4	Elektrické zapojení a vliv napájecího proudu	467
10.3.1.5	Výměna vzorku	467
10.3.1.6	Příklady tepelně vodivostních analyzátorů	468
10.3.2	Analyzátory s katalytickými senzory	469
10.3.2.1	Princip funkce	469
10.3.2.2	Pelistorové senzory	469
10.3.2.3	Příklady analyzátorů s katalytickými senzory	471
10.3.2.4	Použití analyzátorů s pelistorovými senzory	473
10.3.3	Analyzátory s polovodičovými senzory	474
10.3.3.1	Princip polovodičových senzorů	474
10.3.3.2	Uspořádání senzoru	475
10.3.3.3	Použití polovodičových senzorů	475
10.3.4	Fotometrické analyzátory	476
10.3.4.1	Principy fotometrických analyzátorů	476
10.3.4.2	Analyzátory s absorpcí v UV oblasti	477
10.3.4.3	Infračervené analyzátory	480
10.3.4.4	Fluorescenční analyzátory	488
10.3.4.5	Chemiluminiscenční analyzátory	491
10.3.5	Magnetické analyzátory	493
10.3.5.1	Magnetické vlastnosti látek	493
10.3.5.2	Měřicí metody	495
10.3.5.3	Možnosti použití magnetických analyzátorů	499
10.3.6	Analyzátory s fotoionizačním detektorem (PID)	499
10.3.7	Elektrochemické senzory plynů	500
10.3.7.1	Ampérometrické senzory	501
10.3.7.2	Potenciometrické senzory	503
10.3.8	Provozní plynové chromatografy	506
10.3.8.1	Princip měření a základní součásti chromatografu	506
10.3.8.2	Chromatografická kolona	507
10.3.8.3	Detektory	509
10.3.8.4	Dávkování vzorku	514
10.3.8.5	Termostat	515
10.3.8.6	Nosný plyn	515
10.3.8.7	Vyhodnocení analýzy	515
10.3.8.8	Příklady provozních chromatografií	516
10.4	Odběr a úprava vzorku	520
10.4.1	Odběr a úprava vzorků plynu	520
10.4.1.1	Odběr vzorku plynu	520
10.4.1.2	Doprava vzorku plynu	520
10.4.1.3	Odstranění mechanických nečistot z plynu	521
10.4.1.4	Úprava vzorku plynu	522
10.4.1.5	Likvidace plyných vzorků	523
10.4.2	Odběr a úprava vzorků kapalin	523
10.4.2.1	Odběr vzorku kapaliny	523
10.4.2.2	Doprava vzorku kapaliny	524

10.4.2.3	Odstranění mechanických nečistot z kapaliny.....	524
10.4.2.4	Odstranění plynů z kapaliny.....	524
10.4.2.5	Úprava tlaku a teploty	525
10.4.2.6	Likvidace kapalných vzorků.....	525
10.5	Měření pevných částic v plynu.....	525
10.5.1	Gravimetrické metody a měření absorpce β -záření	525
10.5.2	Optické metody.....	526
10.5.3	Odběr vzorku	528
10.6	Měření barvy	529
10.6.1	Základy teorie barev	529
10.6.2	Základní veličiny a vztahy používané ve spektrofotometrii.....	530
10.6.3	Detekce barev a LED analyzátory	531
10.6.3.1	Systém colorCONTROL ACS7000 pro inline měření barev.....	531
10.6.3.2	Univerzální snímače barev s optickým vláknem.....	534
10.6.3.3	Snímače barev s pevnými objektivy pro speciální povrchy.....	534
10.6.4	Měření barvy vody absorpčním fotometrem SIGRIST ColorPlus.....	535
10.6.5	Rychlá kontrola kvality barvy potravin.....	535
10.6.6	Aplikace měření barvy v reálném čase v potravinářství	538
10.6.7	Měření barvy cukru v reálném čase.....	539
11	Měření velikosti částic, pórů a pórovitosti materiálů (Jiří Štětina, Evžen Šárka, Tereza Uhlířová, Eva Gregorová, Willi Pabst, Zdeněk Bubník)	546
11.1	Měření velikosti částic	546
11.1.1	Měření distribuce velikosti částic metodou laserové difrakce	550
11.2	Měření pórovitosti a velikosti pórů materiálů	552
11.3	Obrazová analýza.....	554
11.3.1	Princip obrazové analýzy	554
11.3.2	Využití obrazové analýzy k vyhodnocení velikosti částic.....	555
11.3.3	Využití obrazové analýzy k vyhodnocení pórovitosti a velikosti pórů materiálů	558
	Seznam zkratk	563
	Rejstřík – Díl I.....	574