

S. Ďaďo, L. Bejček, A. Platil

MĚŘENÍ PRŮTOKU A VÝŠKY HLADINY

Praha 2005



Publikace je určena pro širokou technickou veřejnost zabývající se měřením průtoku, může posloužit konstruktérům strojů a projektantům, inženýrům útvárů obchodně-technických služeb a technickým pracovníkům výroby. Navíc lze očekávat, že v publikaci uvedené poznatky poslouží také při řešení nestandardních úkolů z oblasti měření průtoku a výšky hladiny, přinejmenším alespoň jako inspirační materiál.

Je vhodná také jako učební pomůcka pro studenty středních odborných škol a příp. i pro studenty vysokých škol technických. Předpokládají se základní znalosti středoškolské matematiky, fyziky a elektrotechniky. Avšak pro získání přehledných znalostí encyklopedického charakteru lze vystačit pouze se znalostí elementárních zákonů fyziky a matematiky.

Poděkování za podporu této knihy náleží těmto firmám:



S. Ďaďo, L. Bejček, A. Platil

Měření průtoku a výšky hladiny

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.

Autoři 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

© S. Ďaďo, L. Bejček, A. Platil, Praha 2005

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

S. Ďaďo, L. Bejček, A. Platil: Měření průtoku a výšky hladiny

BEN – technická literatura, Praha 2005

1. vydání

ISBN 80-7300-156-X

Obsah

1 ÚVOD	17
1.1 Od historie k současnosti	18
1.2 Zaměření publikace	19
1.3 Komu je publikace určena	20
2 ZÁKLADNÍ POJMY A DEFINICE	23
2.1 Definice	24
2.2 Základní termodynamické zákony pro průtok plynů	25
2.3 Druhy proudění	27
2.4 Mezní vrstva	28
2.5 Viskozita	30
2.6 Podobnostní čísla	31
2.6.1 Reynoldsovo číslo	31
2.6.3 Nusseltovo číslo	32
2.6.4 Machovo číslo	32
2.6.5 Prandtlovo číslo	32
2.7 Rovnice kontinuity	33
2.8 Bernoulliho rovnice	33
2.9 Poiseuilleův zákon	36
2.10 Pascalův princip	37
2.11 Vlivy tvaru potrubí	37
2.11.1 Rychlostní profil v zahnutých potrubích	37
2.11.2 Redukce průměru potrubí	38
2.11.3 Expanze průměru potrubí	38
2.11.4 Průtok v potrubí s odbočkami	39
2.12 Průtok dvoufázové tekutiny a kavitace	39
2.12.1 Dvoufázové tekutiny	39
2.12.2 Kavitace	40
2.13 Newtonovské a nenevtonovské tekutiny	41

3	ROZDĚLENÍ SENZORŮ PRŮTOKU	45
3.0	Úvod	46
3.1	Základní metody měření průtoku	47
3.2	Požadavky na snímače průtoku a průtokoměry	47
3.3	Výběr průtokoměru	49
4	PRŮŘEZOVÉ PRŮTOKOMĚRY	55
4.1	Průtokoměry na principu tlakového rozdílu	56
4.2	Průtokoměry se škrtkými orgány	57
4.2.1	Clony	58
4.2.2	Venturiho trubice	67
4.2.3	Dallova trubice	68
4.2.4	Dýzy	69
4.2.5	V-kužel	70
4.2.6	Škrtký orgán typu klínový segment	70
4.2.7	Mikromechanický průtokoměr se škrtkým orgánem	71
4.2.8	Škrtký orgány pro laminární proudění	72
4.2.9	Nejistoty a rozsah průtokoměrů s diferenčními senzory tlaku	73
4.2.10	Význam průtokoměrů se škrtkými orgány	74
4.3	Kolenové průtokoměry	75
5	RYCHLOSTNÍ PRŮTOKOMĚRY	79
5.1	Pitotova trubice	80
5.1.1	Základní teorie	80
5.1.2	Konstrukce a použití Pitotovy trubice	81
5.1.3	Prandltova trubice	83
5.2	Víceotvorové Pitotovy trubice	84
5.2.1	Základní teorie	84
5.2.2	Vliv vibrační a tvar víceotvorových sond	85
5.2.3	Víceotvorové Pitotovy trubice typu Annubar	86
5.3	Aplikace Pitotových trubic v letectví	87

6	PRŮTOKOMĚRY S PROMĚNNÝM PRŮŘEZEM	89
	(PLOVÁČKOVÉ PRŮTOKOMĚRY, ROTAMETRY)	
6.1	Princip činnosti	90
6.2	Průtokoměr s proměnným průřezem jako regulační obvod	92
6.3	Konstrukce plováčkových průtokoměrů	92
6.3.1	Pružinový průtokoměr	94
6.3.2	Průtokoměr s vychylovanou klapkou	94
6.4	Aplikace rotametrů	95
6.5	Metrologické vlastnosti rotametrů	96
7	TURBÍNOVÉ A LOPATKOVÉ SENZORY PRŮTOKU	97
7.1	Princip	98
7.2.1	Turbínové průtokoměry s tangenciálním vtokem (lopatkové radiální průtokoměry)	99
7.2.2	Zásuvné turbínové průtokoměry	99
7.2.4	Turbínový průtokoměr se dvěma protiběžnými rotory ...	101
7.2.5	Bezložiskové turbínové průtokoměry	101
7.3	Vrtulové (šroubové) průtokoměry	101
7.4	Průtokoměry s lopatkovými koly	102
7.4.1	Turbínové a lopatkové průtokoměry s tryskou	102
7.4.2	Turbínové průtokoměry s obtokem (bočníkem)	103
7.5	Měřicí obvody turbínových a lopatkových průtokoměrů	104
7.6	Provozní vlastnosti turbínových průtokoměrů	105
7.6.1	Rozsah použití	105
7.6.2	Účinky viskozity na turbínové průtokoměry	105
7.6.3	Nevýhody a omezení turbínových průtokoměrů	106
7.7	Metrologické vlastnosti turbínových průtokoměrů	108
7.7.1	Linearita	108
7.7.2	Reprodukovatelnost	108
7.7.2	Dynamické vlastnosti turbínových průtokoměrů	109
7.8	Závěry a výhledy dalšího vývoje	109

8	OBJEMOVÉ PRŮTOKOMĚRY	111
8.1	Úvod	112
8.2	Oválný průtokoměr	112
8.3	Tělesový (lalokový, piškotkový) průtokoměr	115
8.4	Průtokoměry s kyvným diskem	116
8.5	Průtokoměr s oběžným kolem	117
8.6	Bubnový průtokoměr	118
8.7	Bubnový plynoměr (mokřý plynoměr)	119
8.8	Průtokoměr s rotujícími lopatkami	120
8.9	Šroubové průtokoměry	121
8.10	Průtokoměr s krouživým pístem	122
	8.10.1 Kinematika činnosti	123
8.11	Průtokoměry s měřícími čerpadly	126
8.12	Průtokoměry pevných látek	127
	8.12.1 Průtokoměr na momentovém principu	128
	8.12.2 Dopravníková váha	128
	8.12.3 Kapacitní metoda	129
	8.12.4 Detekce pohybu částic mikrovlnným zářením	130
9	DEFORMAČNÍ PRŮTOKOMĚRY	133
9.1	Princip	134
9.2	Metrologické vlastnosti	135
9.3	Použití deformačních průtokoměrů	136
10	ULTRAZVUKOVÉ SENZORY PRŮTOKU	139
10.1	Princip a rozdělení	140
10.2	Umístění měničů ultrazvukových průtokoměrů na potrubí	141
10.3	Přímé ultrazvukové průtokoměry	143
	10.3.1 Princip činnosti	143
	10.3.2 Měřící obvody přímých ultrazvukových průtokoměrů ..	145
	10.3.3 Průtokoměry založené na odrazu a lomu vlnění	146
	10.3.4 Vlastnosti průtokoměrů s příložnými měniči	147
10.4	Zpětnovazební průtokoměry	147
	10.4.1 Princip činnosti	147
	10.4.2 Zpětnovazební průtokoměr se stálou dobou měření	149

10.4.3	Zpětnovazební průtokoměr se stálým počtem oběhů impulzu	149
10.4.4	Zpětnovazební průtokoměr se stálou vlnovou délkou signálu	150
10.5	Dopplerovy průtokoměry	151
10.5.1	Princip činnosti	151
10.5.2	Dopplerovy průtokoměry s jedním měničem (příložné, bezdotykové)	154
10.5.3	Korelační ultrazvukové průtokoměry	154
10.6	Metrologické vlastnosti ultrazvukových průtokoměrů	154
10.7	Směry vývoje měřicích obvodů ultrazvukových průtokoměrů	155
10.7.1	Číslicové zpracování signálů	155
10.7.2	Diagnostika, identifikace tekutiny, komunikace	156
10.8	Výhody ultrazvukových průtokoměrů	157
10.9	Zásady správného provozu ultrazvukových průtokoměrů	158

11 INDUKČNÍ SENZORY PRŮTOKU 161

11.1	Elektromagnetický průtokoměr	162
11.1.1	Princip elektromagnetického průtokoměru	162
11.1.2	Náhradní obvod indukčního průtokoměru	163
11.1.3	Magnetoelektrický průtokoměr	165
11.1.4	Chování reálného indukčního průtokoměru	166
11.1.5	Vlastnosti elektrod	166
11.1.6	Vliv vlastností proudící tekutiny	167
11.1.7	Vliv magnetického pole	168
11.1.8	Vlastnosti potrubí	169
11.1.9	Instalace průtokoměru	172
11.2	Realizace indukčních průtokoměrů	173
11.2.1	Rozdělení indukčních průtokoměrů	173
11.2.2	Ponorné průtokoměry	174
11.2.3	Zásuvné průtokoměry	175
11.2.4	Bodový a plošný průtokoměr	176
11.2.5	Průtokoměry pro nezaplňené potrubí	177

11.3	Konstrukce dílů indukčních průtokoměrů	178
11.3.1	Úvod	178
11.3.2	Vytvoření magnetického pole	178
11.3.3	Měřicí trubice	179
11.3.4	Výběr průměru měřicí trubice magnetického průtokoměru	180
11.4	Měřicí obvody indukčních průtokoměrů	180
11.4.1	Úvod	180
11.4.2	Rozbor příčin rušení signálu elektrod	181
11.4.3	Měřicí obvody – základní vlastnosti koherentní demodulace	183
11.5	Potlačení střídavého rušení volbou tvaru časového průběhu magnetického pole	185
11.5.1	Úvod	185
11.5.2	Lichoběžňkový průběh indukce B	186
11.5.3	Impulzní stejnosměrné magnetické pole	187
11.5.4	Výkonové impulzní stejnosměrné buzení	188
11.5.5	Spínané střídavé magnetické pole	188
11.5.6	Buzení magnetického pole exponenciálními impulzy (Ex-Pulse excitation)	189
11.5.7	Impulzní magnetické pole	191
11.6	Tvary magnetického pole	191
11.6.1	Úvod	191
11.6.2	Volba hodnoty magnetické indukce B	192
11.6.3	Volba frekvence magnetického pole	192
11.6.4	Průtokoměry s magnetickým polem na dvou frekvencích	193
11.7	Napájení indukčních průtokoměrů	194
11.7.1	Standardní napájení	194
11.7.2	Dvou vodičové připojení indukčního průtokoměru	194
11.8	Zvláštnosti zpracování signálu elektrod	196
11.8.1	Potlačení souhlasného rušení	197
11.8.2	Kapacitní snímání signálu elektrod	197
11.8.3	Rušení nesprávným uzemněním	199
11.8.4	Zpracování naměřených údajů (postprocessing)	200

11.8.5	Komunikace průtokoměrů s nadřazenými systémy	202
11.8.6	Diagnostické postupy	202
11.8.7	Měření pulzujícího průtoku	203
11.9	Závěr	204

12 HMOTNOSTNÍ PRŮTOKOMĚRY NA PRINCIPU CORIOLISOVY SÍLY 207

12.1	Fyzikální princip Coriolisovy síly	208
12.2	Základní tvary měřicích trubíc Coriolisových průtokoměrů	208
12.2.1	Úvod	208
12.2.2	Průtokoměry se zakřivenou trubicí U trubicí	209
12.2.3	Průtokoměry s přímou měřicí trubicí	210
12.3	Přehled základních tvarů měřicích trubek Coriolisových průtokoměrů	212
12.3.1	Úvod	212
12.3.2	Dvojitě přímé paralelní trubice	214
12.3.3	Dvojitě souosé přímé trubice	214
12.3.4	Průtokoměry s měřicí trubicí ve tvaru oblouku	215
12.3.5	Měřicí trubice s deformací v krutu	216
12.3.6	Potlačení účinků vibrace potrubí	216
12.3.7	Coriolisův průtokoměr s torzními kmity dvojitě trubice tvaru Ω	218
12.4	Ke konstrukci a materiálům měřicích trubíc	221
12.4.1	Obecné poznatky	221
12.4.2	Mikromechanicky vyrobené Coriolisovy průtokoměry ..	221
12.5	Příložné Coriolisovy průtokoměry	222
12.6	Měřicí obvody Coriolisových průtokoměrů	223
12.6.1	Obvody pro vytváření kmitů	223
12.6.2	Senzory polohy užívané u Coriolisových průtokoměrů ..	224
12.6.3	Měření časových intervalů	224
12.7	Typický měřicí obvod pro zakřivené trubice	224
12.8	Inteligentní průtokoměry – metody MVD	226
12.9	Volba rozměrů a rozsahu průtokoměru	228
12.10	Coriolisovy průtokoměry pro látky v plynné a pevné fázi	229
12.11	Zvláštnosti při aplikaci Coriolisových průtokoměrů	229

12.11.1	Měření dvoufázového průtoku tekutiny	229
12.11.2	Digitální zpětnovazební oscilátor	231
12.12	Metrologické vlastnosti Coriolisových průtokoměrů	231
	Výrobci Coriolisových průtokoměrů	232
13	PRŮTOKOMĚRY SE ZNAČENÍM TEKUTINY (SMĚŠOVACÍ)	233
13.1	Úvod	234
13.2	Určení průtoku z rychlosti šíření značky – metoda postupové doby	234
13.3	Určení průtoku ze zředování značkovací látky	235
13.3.1	Integrační metoda	235
13.3.2	Metoda s průběžnou injektáží	235
13.4	Korelační metody měření průtoku	236
13.4.1	Teorie	236
13.4.2	Ultrazvukový korelační průtokoměr	238
13.5	Možnosti použití metody, výhody a nevýhody	240
14	FLUIDIKOVÉ PRŮTOKOMĚRY	243
14.1	Základní teorie	244
14.1.1	Části fluidikových čidel	246
14.2	Čidla průtoku	248
14.3	Provedení fluidikových průtokoměrů	262
14.3.1	Vírové průtokoměry	262
14.3.2	Vířivé průtokoměry	265
14.3.3	Oscilační průtokoměry	268
14.4	Instalace, aplikace	270
	Výrobci fluidikových průtokoměrů	271
15	TEPELNÉ PRŮTOKOMĚRY	275
15.1	Úvod	276
15.2	Termoanemometry	276
15.3	Kalorimetrické	283
15.3.1	Integrované kalorimetrické senzory průtoku	287
15.3.2	Inteligentní tepelné senzory průtoku	288

15.4	Provedení tepelných průtokoměrů	292
15.5	Instalace, aplikace	293
	Výrobci tepelných průtokoměrů	293
16	ÚVOD K MĚŘENÍ HLADINY	295
16.1	Proč měřit hladinu	296
16.2	Výběr senzoru	296
16.3	Určení objemu látky	297
16.4	Přesnost senzoru	297
16.5	Další faktory pro výběr senzoru	298
16.5.1	Prostorové nároky	298
16.5.2	Jiskrová bezpečnost	298
16.5.3	Stupeň krytí IP	298
16.5.4	Odolnost vůči tlaku	298
16.5.5	Spínací a rozpínací parametry	299
16.6	Glosář některých méně srozumitelných anglických termínů	299
17	JEDNODUCHÉ INDIKÁTORY HLADINY	301
17.1	Ponorná tyč	302
17.2	Průhledítka a stavoznaky	303
17.3	Magnetické stavoznaky	304
17.4	Termovizní zobrazování	305
18	PLOVÁKOVÉ HLADINOMĚRY	307
18.1	Přehled plováků	308
18.2	Plovákové spínače	309
18.3	Pseudospojité spínačové	311
18.4	Řetězové a pásové stavoznaky	312
18.5	Odporové snímače	313
18.6	Snímače s Hallovou sondou	314
18.7	Snímače s LVDT	314
18.8	Magnetostriční hladinoměry	315

19	MECHANICKÉ HLADINOMĚRY	319
19.1	Překlápěcí spínač	320
19.2	Vztlakové těleso	320
19.3	Spouštěný plovák	321
19.4	Lopátkové	323
19.5	Vibrační	324
19.6	Membránové spínače	326
20	VÁŽNÍ SYSTÉMY	327
20.1	Přehled vážních systémů	329
20.1.1	Vysoce přesné systémy	329
20.1.2	Systémy s nízkou přesností	330
20.2	Teplotní expanze nádoby	330
20.3	Omezení stranových pohybů	332
20.4	Počet podpěr	333
20.5	Další požadavky	333
20.6	Volba pracovního rozsahu	333
20.7	Instalace	334
20.8	Kalibrace zařízení	334
20.8.1	Elektronická kalibrace	334
20.8.2	Mechanická kalibrace	334
20.8.3	Kalibrace pomocí hydraulického zvedáku	335
20.9	Problémy	336
21	TLAKOVÉ HLADINOMĚRY	337
21.1	Přehled a princip funkce	338
21.2	Oddělovací membrány	340
21.3	Měření hydrostatického tlaku v atmosférických nádobách	342
21.3.1	Ponorné snímače	342
21.3.2	Statické snímače	343
21.4	Měření hydrostatického tlaku v tlakových nádobách	343
21.4.1	Suché připojení (dry leg)	344
21.4.2	Mokrý připojení (wet leg)	344
21.4.3	Připojení oddělovací membránou	345
21.4.4	Zvláštní případy	346

21.5	Kompenzované systémy měření HTG	346
21.6	Probublávací systém (Bubbler)	348
22	ELEKTRICKÉ HLADINOMĚRY	351
22.1	Potenciometrické	352
22.2	Odporové pásky (resistance tape)	352
22.3	Vodivostní	353
22.4	Kapacitní	354
22.4.1	Kapacitní hladinové spínače	354
22.4.2	Spojité kapacitní snímače	355
22.5	Termální senzory	357
23	OPTICKÉ HLADINOMĚRY	359
23.1	Reflexní	360
23.2	Refrakční	360
23.3	Transmisní (absorpční)	362
23.4	Laserové senzory	363
23.4.1	Triangulační dálkoměry	364
23.4.2	Měření doby letu	364
23.5	Kamerové systémy	365
23.6	Optické vláknové senzory	366
23.6.1	Refrakční princip	366
23.6.2	Reflexní princip	367
23.6.3	Transmisní princip	367
24	ULTRAZVUKOVÉ HLADINOMĚRY	369
24.1	Přehled ultrazvukové technologie	370
24.1.1	Vlastnosti ultrazvuku a ultrazvukových senzorů	370
24.1.2	Ultrazvukové převodníky	371
24.1.3	Rychlost šíření zvuku	372
24.2	Hladinové spínače	373
24.2.1	Transmisní-absorpční spínače	373
24.2.2	Reflexní spínače	374
24.3	Spojité měření hladiny	376
24.3.1	Princip činnosti	376

24.3.2	Umístění senzoru	377
24.3.3	Zpracování signálu	378
25	RADARY	381
25.1	Historická perspektiva	382
25.2	Fyzika radaru	382
25.2.1	Rychlost šíření vln	382
25.2.2	Odraz elektromagnetických vln	385
25.2.3	Polarizace	386
25.2.4	Interference	386
25.3	Typy radaru	388
25.3.1	FM-CW radar	388
25.3.2	Pulzní radar	390
25.4	Pracovní frekvence	393
25.5	Přesnost radaru	394
25.6	Rozlišitelnost	394
25.6.1	FMCW radar	394
25.6.2	Pulzní radar	396
25.7	Anténa	397
25.7.1	Obecné vlastnosti antén	397
25.7.2	Druhy antén	400
25.8	Instalace radaru	405
25.8.1	Kónické antény	405
25.8.2	Tyčové antény	405
25.8.3	Obecné zásady	406
25.8.4	Měření sypkých látek	408
25.9	Bezpečnost práce	409
25.10	Kontaktní radar, TDR, GWR	409
25.10.1	Použití TDR pro měření hladiny	410
25.10.2	Porovnání vlastností vlnovodů	411
25.10.3	Metody měření hladiny kontaktním radarem	412
25.10.4	Bezkontaktní TDR	414
25.11	Mikropříkonový impulzní radar (MIR)	414
25.12	Připojení a software	415

26	RADIAČNÍ HLADINOMĚRY	417
26.1	Přehled radiačních hladinoměrů	418
26.2	Útlumové hladinoměry	418
26.3	Neutronové hladinoměry (neutron back scatter)	421
26.4	Měření hustotního profilu	422
	REJSTRÍK	425
	KNIHY NAKLADATELSTVÍ	
	BEN – TECHNICKÁ LITERATURA	435
	ADRESY PRODEJEN TECHNICKÉ LITERATURY	447
	PÁR SLOV O NAKLADATELSTVÍ.....	448

PŘEDMLUVA

Měření průtoku a výšky hladiny látek patří do málo početné skupiny úkolů měřicí techniky v nichž chyby, nejistoty a poruchy měřicího postupu bezprostředně ovlivňují ekonomické parametry technologického procesu. Je to patrné např. při měření hmotnostního průtoku, kdy nejistoty měření vyvolají přímo vyčíslitelné finanční ztráty na straně dodavatele, resp. odběratele. Negativním dopadům ztrát, vzniklých nesprávným výběrem a provozem přístrojů, lze do značné míry zabránit pochopením fyzikální podstaty v přístroji probíhajících procesů. Uvážíme-li neobyčejně širokou variabilitu fyzikálních vlastností měřených látek a okolních podmínek měření, vyžaduje hlubší poznání vlastností daného principu přístroje široké znalosti z oblasti mechaniky, proudění, fyzikální chemie, materiálového inženýrství, elektrotechniky a elektroniky. Proto tato publikace, vycházející v nakladatelství BEN – technická literatura v rámci edice věnované senzorům neelektrických veličin, si klade za cíl podrobněji seznámit technické pracovníky výroby, ale i studenty odborných škol, s principy senzorů pro měření průtoku a výšky hladiny, včetně měřicích obvodů specificky pro tyto účely vyvinutých.

Je snad zbytečné zdůrazňovat, že z tak rozsáhlého spektra známých principů a konstrukcí byly autoři vybrány pouze koncepce reprezentující celou třídu obdobných senzorů nebo předurčené k dalšímu vývoji, např. realizaci technologií mikromechanických senzorů (MEMS). Správnost výběru splňujícího tato kritéria autoři opírají o svou dlouholetou pedagogickou zkušenost ve výuce senzorů na Elektrotechnických fakultách v Praze a Brně a o prezentace vlastních příspěvků z této oblasti na konferencích „Průtok“ a „Měření hladin“ a v odborné literatuře (např. časopis *Automatizace a Automa*).

Autoři považují za nutné hned na začátku upozornit, že v publikaci nejsou uvedeny metody měření průtoku v otevřených kanálech a rovněž specifické metody měření průtoku plynů. Z důvodů omezeného rozsahu publikace je rovněž vynechána problematika kalibrace a verifikace průtokoměrů a hladinoměrů. Z obdobných příčin nebylo možné do publikace ve větší míře zahrnout rozsáhlý materiál popisující relevantní normy. Věříme, že tím není ohrožen hlavní záměr a charakter publikace. Pokud znalostí uvedené v publikaci pomohou čtenáři nejen pochopit podstatu funkce ale i vysvětlit a odstranit artefakty vznikající při provozu popisovaných měřicích zařízení, budou cíle sledované autoři díla, splněny.

Autoři by na tomto místě rádi poděkovali doc. Ing. Josefu Jenčíkovi, CSc., známému odborníkovi v oblasti měření průtoku, za jeho pečlivou oponenturu a cenné připomínky.

Dík za pomoc a cenné rady patří i mnoha kolegům, přátelům a dalším odborníkům, kteří přispěli radou a cennými informacemi. Rozhodně je nutné jmenovat pana Karla Závětu a pana Lud'ka Krause z FZÚ AVČR, pana Lubomíra Dudu z firmy Krohne a pana Rainera Meyna z Vishay Measurements Group. Dále patří dík kolegům z FEL ČVUT, zejména Pavlu Ripkovi a Janu Včelákovi za poskytnutí informací a rad.