

# Obsah

	PŘEHLED VELIČIN A JEJICH JEDNOTEK . . . . .	10
	SEZNAM TABULEK . . . . .	15
	SEZNAM PŘÍLOH . . . . .	18
	PŘEDMLUVA . . . . .	19
1	ROZDĚLENÍ PALIV A JEJICH VLASTNOSTI . . . . .	21
1.1	Rozdělení paliv . . . . .	21
1.1.1	Tuhá paliva . . . . .	22
1.1.2	Kapalná paliva . . . . .	28
1.1.3	Plynná paliva . . . . .	29
1.2	Základní vlastnosti paliv . . . . .	33
1.2.1	Chemické složení paliva . . . . .	33
1.2.1.1	Analýza paliva . . . . .	33
1.2.1.2	Význam jednotlivých složek paliva . . . . .	40
1.2.2	Spalné teplo a výhřevnost . . . . .	44
1.2.2.1	Stanovení spalného tepla a výhřevnosti v kalorimetru . . . . .	44
1.2.2.2	Stanovení spalného tepla a výhřevnosti výpočtem . . . . .	54
1.2.2.3	Měrné palivo . . . . .	64
1.2.3	Spalná teplota . . . . .	65
1.2.3.1	Měrná tepelná kapacita . . . . .	65
1.2.3.2	Entalpie . . . . .	70
1.2.3.3	Rovnice tepelné rovnováhy . . . . .	74
1.2.3.4	Základní druhy spalných teplot . . . . .	77
1.2.4	Ohřev paliva bez přístupu vzduchu . . . . .	101
2	SPALOVÁNÍ PALIV . . . . .	104
2.1	Způsoby spalování . . . . .	104
2.2	Výpočty spotřeby spalovacího vzduchu a množství spalin . . . . .	107
2.2.1	Stechiometrické výpočty . . . . .	108
2.2.2	Empirické vztahy . . . . .	125
2.2.3	Grafické metody . . . . .	128
2.3	Kontrola spalování . . . . .	133
2.3.1	Analytické metody . . . . .	134
2.3.2	Grafické metody . . . . .	139
2.3.2.1	Ostwaldův trojúhelník . . . . .	139
2.3.2.2	Bunteův trojúhelník . . . . .	151
3	ZÁKLADY TEORIE HOŘENÍ . . . . .	156
3.1	Difúzní, kinetická a přechodová oblast hoření . . . . .	157
3.1.1	Hoření v difúzní oblasti . . . . .	157
3.1.2	Hoření v kinetické oblasti . . . . .	158
3.1.3	Hoření v přechodové oblasti . . . . .	159

3.2	Základní fyzikální zákony . . . . .	160
3.2.1	Zákon viskozity . . . . .	162
3.2.2	Zákony vedení tepla . . . . .	167
3.2.3	Zákony difúze . . . . .	171
3.2.4	Aplikace základních fyzikálních zákonů při turbulentním proudění . . . . .	182
3.3	Základy chemické kinetiky hoření . . . . .	190
3.3.1	Chemická rovnováha hoření . . . . .	191
3.3.2	Chemická kinetika hoření . . . . .	195
3.3.2.1	Vliv teploty na rychlost reakce . . . . .	197
3.3.2.2	Vliv látkové koncentrace na rychlost reakce . . . . .	202
3.3.2.3	Vliv tlaku na rychlost reakce . . . . .	204
3.3.3	Mechanismus reakcí hoření . . . . .	205
3.3.3.1	Hoření vodíku . . . . .	207
3.3.3.2	Hoření oxidu uhelnatého . . . . .	208
3.3.3.3	Hoření methanu . . . . .	208
3.3.3.4	Hoření uhlovodíků . . . . .	209
3.3.3.5	Hoření uhlíku . . . . .	209
3.4	Podmínky pro vznícení a hoření . . . . .	210
3.4.1	Homogenní hoření . . . . .	210
3.4.1.1	Zápalná teplota . . . . .	213
3.4.1.2	Meze vznícení . . . . .	215
3.4.2	Heterogenní hoření . . . . .	216
3.5	Hoření v laminárním a turbulentním proudu . . . . .	218
3.5.1	Hoření v laminárním proudu . . . . .	218
3.5.1.1	Normálová rychlost šíření plamene . . . . .	222
3.5.1.2	Stabilizace fronty hoření . . . . .	224
3.5.2	Hoření v turbulentním proudu . . . . .	227
3.6	Aerodynamika procesu hoření . . . . .	229
3.6.1	Volný proud . . . . .	230
3.6.1.1	Přímý turbulentní proud . . . . .	232
3.6.1.2	Příčný turbulentní proud . . . . .	235
3.6.2	Ohraničený proud . . . . .	237
3.7	Hoření plynného paliva . . . . .	239
3.7.1	Kinetické hoření . . . . .	239
3.7.1.1	Laminární kinetické hoření . . . . .	239
3.7.1.2	Turbulentní kinetické hoření . . . . .	240
3.7.2	Přechod od kinetického hoření k difúznímu . . . . .	242
3.7.3	Difúzní hoření . . . . .	243
3.7.3.1	Laminární difúzní hoření . . . . .	244
3.7.3.2	Turbulentní difúzní hoření . . . . .	245
3.8	Hoření kapalného paliva . . . . .	247
3.8.1	Podmínky hoření kapalných paliv . . . . .	248
3.8.2	Struktura plamene . . . . .	251
3.8.3	Rozbor procesu hoření . . . . .	252
3.9	Hoření tuhého paliva . . . . .	254
3.9.1	Heterogenní hoření tuhého uhlíku . . . . .	255
3.9.2	Hoření tuhého paliva ve vrstvě . . . . .	257
3.9.3	Hoření práškového paliva . . . . .	260
4	TEORIE PODOBNOSTI A MODELOVÁNÍ . . . . .	262
4.1	Podobnost . . . . .	262
4.1.1	Konstanta podobnosti . . . . .	263



4.1.2	Indikátor podobnosti . . . . .	265
4.1.3	Invariant, kritérium podobnosti . . . . .	267
4.2	Kritériální rovnice . . . . .	272
4.2.1	Rozměrová analýza . . . . .	273
4.2.1.1	Veličiny a jednotky . . . . .	273
4.2.1.2	$\pi$ -teorem . . . . .	274
4.2.1.3	Huntleyova metoda . . . . .	285
4.2.2	Analýza základních rovnic . . . . .	289
4.2.2.1	Metoda převedení rovnic do bezrozměrového tvaru . . . . .	289
4.2.2.2	Metoda podobnostní transformace . . . . .	292
4.3	Modelování . . . . .	294
4.3.1	Matematické modelování . . . . .	295
4.3.1.1	Hydroanalogie . . . . .	296
4.3.1.2	Elektroanalogie . . . . .	304
4.3.2	Fyzikální modelování . . . . .	308
4.3.2.1	Přibližné modelování . . . . .	309
4.3.2.1.1	Automodelnost . . . . .	311
4.3.2.1.2	Izotermické modelování . . . . .	315
5	PROUDĚNÍ . . . . .	318
5.1	Obecný základ . . . . .	319
5.1.1	Základní pojmy . . . . .	319
5.1.2	Stavové veličiny . . . . .	320
5.1.3	Fyzikální vlastnosti tekutin . . . . .	324
5.1.4	Základní plynové zákony . . . . .	329
5.1.5	Směsi plynu . . . . .	339
5.2	Statika a dynamika tekutin . . . . .	345
5.2.1	Základní druhy tlaku . . . . .	345
5.2.2	Statika tekutin . . . . .	349
5.2.2.1	Statika jednoho plynu . . . . .	349
5.2.2.2	Statika dvou plynů rozdílných vlastností . . . . .	351
5.2.2.3	Eulerova rovnice statiky tekutin . . . . .	358
5.2.3	Dynamika tekutin . . . . .	362
5.2.3.1	Základní rovnice proudění . . . . .	364
5.2.3.2	Druhy proudění skutečné tekutiny . . . . .	376
5.2.3.3	Mezní vrstva . . . . .	384
5.3	Hydraulické ztráty . . . . .	392
5.3.1	Ztráty třením . . . . .	394
5.3.2	Místní ztráty . . . . .	406
5.4	Proudění plynu v pecních systémech . . . . .	407
5.4.1	Proudění plynu kanály . . . . .	407
5.4.2	Výtok plynu otvory . . . . .	434
5.4.2.1	Výtok plynu při nízkých rychlostech . . . . .	434
5.4.2.2	Výtok plynu při vysokých rychlostech . . . . .	438
5.4.3	Proudění plynu v pracovním prostoru pecí . . . . .	448
5.4.4	Přirozený a nucený odvod spalin . . . . .	451
5.4.4.1	Přirozený odvod spalin . . . . .	451
5.4.4.2	Nucený odvod spalin . . . . .	455
6	SDÍLENÍ TEPLA . . . . .	457
6.1	Sdílení tepla vedením . . . . .	458
6.1.1	Součinitel tepelné vodivosti . . . . .	459

6.1.2	Fourierova rovnice vedení tepla . . . . .	464
6.1.3	Podmínky jednoznačnosti úloh vedení tepla . . . . .	468
6.1.4	Stacionární vedení tepla . . . . .	470
6.1.4.1	Jednosměrné stacionární vedení tepla bez vnitřních zdrojů . . . . .	471
6.1.4.1.1	Rovinná stěna . . . . .	471
6.1.4.1.2	Válcová stěna . . . . .	481
6.1.4.1.3	Kulová stěna . . . . .	492
6.1.4.1.4	Vliv změny součinitele tepelné vodivosti na teplotní pole . . . . .	495
6.1.4.2	Jednosměrné stacionární vedení tepla s vnitřními zdroji . . . . .	499
6.1.4.2.1	Rovinná stěna — povrchová podmínka III. druhu . . . . .	500
6.1.4.2.2	Plný válec — povrchová podmínka III. druhu . . . . .	502
6.1.4.3	Vedení tepla tyčí . . . . .	506
6.1.4.3.1	Tyč nekonečné délky . . . . .	507
6.1.4.3.2	Tyč konečné délky . . . . .	508
6.1.4.3.3	Součinitel efektivity žebra . . . . .	510
6.1.4.4	Víceměrné stacionární vedení tepla . . . . .	513
6.1.4.4.1	Analytické metody . . . . .	513
6.1.4.4.2	Numerické metody . . . . .	514
6.1.5	Nestacionární vedení tepla . . . . .	518
6.1.5.1	Analytické metody . . . . .	519
6.1.5.1.1	Rovinná stěna . . . . .	519
6.1.5.1.2	Válec . . . . .	528
6.1.5.1.3	Koule . . . . .	533
6.1.5.1.4	Poloohraničený masív . . . . .	538
6.1.5.1.5	Tělesa složitějšího tvaru . . . . .	543
6.1.5.2	Numerické metody . . . . .	546
6.1.5.2.1	Explicitní metody . . . . .	547
6.1.5.2.2	Implicitní a jiné metody . . . . .	561
6.2	Sdílení tepla konvekcí . . . . .	563
6.2.1	Fourierova—Kirchhoffova rovnice . . . . .	564
6.2.2	Sdílení tepla mezi tekutinou a tuhým tělesem . . . . .	566
6.2.2.1	Tepelný tok na rozhraní tekutina — tuhé těleso . . . . .	567
6.2.2.2	Místní součinitel přestupu tepla konvekcí . . . . .	569
6.2.2.3	Střední součinitel přestupu tepla konvekcí, střední teplotní rozdíl . . . . .	571
6.2.3	Analytické řešení sdílení tepla konvekcí . . . . .	573
6.2.3.1	Konstantní rychlost proudění . . . . .	575
6.2.3.2	Parabolické rozložení rychlosti proudění . . . . .	576
6.2.4	Využití teorie podobnosti pro řešení konvekčního sdílení tepla . . . . .	579
6.2.5	Vliv změny teploty tekutiny na konvekcí tepla . . . . .	582
6.2.6	Experimentální stanovení součinitele přestupu tepla konvekcí . . . . .	584
6.2.7	Součinitel přestupu tepla konvekcí pro inženýrské výpočty . . . . .	586
6.2.7.1	Nucené proudění . . . . .	586
6.2.7.1.1	Podélné obtékání plochého povrchu . . . . .	587
6.2.7.1.2	Obtékání válce, hranolu, koule . . . . .	590
6.2.7.1.3	Obtékání svazku trubek . . . . .	592
6.2.7.1.4	Proudění v trubkách . . . . .	596
6.2.7.2	Přirozené proudění . . . . .	604
6.2.7.2.1	Neohraničený prostor . . . . .	605
6.2.7.2.2	Ohraničený prostor . . . . .	608
6.2.7.3	Směšené proudění . . . . .	610
6.2.7.3.1	Vertikální trubky . . . . .	611
6.2.7.3.2	Horizontální trubky . . . . .	612



6.2.7.4	Proudění tekutých kovů . . . . .	613
6.2.7.5	Var kapaliny . . . . .	615
6.3	Sdílení tepla zářením . . . . .	619
6.3.1	Fyzikální základy záření . . . . .	619
6.3.1.1	Základní pojmy . . . . .	621
6.3.1.2	Planckův zákon . . . . .	623
6.3.1.3	Wienův posunovací zákon . . . . .	625
6.3.1.4	Stefanův—Boltzmannův zákon . . . . .	626
6.3.1.5	Lambertův zákon . . . . .	628
6.3.2	Radiační vlastnosti . . . . .	630
6.3.2.1	Kirchhoffův zákon . . . . .	631
6.3.2.2	Spektrální radiační vlastnosti . . . . .	633
6.3.2.3	Šedé těleso . . . . .	636
6.3.3	Záření mezi tělesy v propustném prostředí . . . . .	637
6.3.3.1	Index směrovosti . . . . .	639
6.3.3.2	Základní případy pro uzavřený systém dvou těles . . . . .	641
6.3.3.2.1	Dva rovnoběžné ploché povrchy . . . . .	641
6.3.3.2.2	Dva zakřivené povrchy . . . . .	645
6.3.4	Záření plynů . . . . .	646
6.3.4.1	Základní zákonitosti . . . . .	648
6.3.4.2	Záření spalin . . . . .	650
6.3.5	Záření mezi plynem a tuhým tělesem . . . . .	655
6.3.6	Záření mezi tělesy v zeslabujícím prostředí . . . . .	656
6.4	Složené sdílení tepla . . . . .	657
	LITERATURA . . . . .	659
	TABULKOVÉ PŘÍLOHY I AŽ VII . . . . .	663
	JMENNÝ REJSTŘÍK . . . . .	669
	VĚCNÝ REJSTŘÍK . . . . .	671