

# OBSAH

Předmluva . . . . .	10
Přehled veličin a jejich jednotek . . . . .	11
<b>1. Zdroje a spotřeba energie . . . . .</b>	<b>13</b>
1.1 Zdroje energie . . . . .	13
1.2 Energetická situace v ČSSR a ve státech RVHP . . . . .	15
1.3 Energetické charakteristiky a měrná spotřeba energie . . . . .	17
1.4 Energetické zdroje hutí . . . . .	20
<b>2. Základní pojmy a vztahy v tepelné technice . . . . .</b>	<b>21</b>
2.1 Základní pojmy . . . . .	21
2.2 Základní plynové zákony . . . . .	26
2.3 Směsi plynů . . . . .	31
2.4 Měrné teplo . . . . .	32
2.5 Entalpie . . . . .	34
2.6 Vlhkost plynů . . . . .	35
<b>3. Měřicí přístroje . . . . .</b>	<b>37</b>
3.1 Přístroje pro měření teplot . . . . .	37
3.1.1 Dilatační teploměry . . . . .	37
3.1.2 Tlakové teploměry . . . . .	38
3.1.3 Odporové teploměry . . . . .	38
3.1.4 Termoelektrické teploměry . . . . .	40
3.1.5 Bezkontaktní teploměry . . . . .	44
3.2 Přístroje pro měření tlaku . . . . .	46
3.2.1 Kapalinové tlakoměry . . . . .	47
3.2.2 Deformační tlakoměry . . . . .	48
3.2.3 Pístové tlakoměry . . . . .	48
3.3 Přístroje pro měření množství . . . . .	49
3.3.1 Rychlostní měřidla . . . . .	49
3.3.2 Průřezová měřidla . . . . .	50
3.3.3 Objemová měřidla . . . . .	52
3.4 Přístroje pro měření vlhkosti . . . . .	52
3.4.1 Vlasový vlhkoměr . . . . .	52
3.4.2 Elektrolytický vlhkoměr . . . . .	52
3.4.3 Psychrometry . . . . .	53
3.5 Přístroje pro analýzu plynu . . . . .	54
3.5.1 Chemické analyzátory . . . . .	54
3.5.2 Elektrické analyzátory . . . . .	54
3.5.3 Infračervené analyzátory . . . . .	56
3.5.4 Magnetické analyzátory . . . . .	56

4.	Paliva . . . . .	57
4.1	Základní zdroje tepelné energie v průmyslu . . . . .	57
4.1.1	Prvotní zdroje . . . . .	57
4.1.1.1	Tuhá paliva . . . . .	58
4.1.1.2	Kapalná paliva . . . . .	60
4.1.1.3	Plynná paliva . . . . .	62
4.1.2	Elektrická energie . . . . .	65
4.1.2.1	Vytápění odporové . . . . .	66
4.1.2.2	Vytápění elektrickým obloukem . . . . .	66
4.1.2.3	Vytápění indukční . . . . .	67
4.1.3	Jaderná energie . . . . .	67
4.2	Vlastnosti paliv . . . . .	69
4.2.1	Chemické složení paliva . . . . .	70
4.2.1.1	Význam jednotlivých složek paliva . . . . .	70
4.2.1.2	Analýza paliva . . . . .	71
4.2.2	Změny vlastností paliva při ohřevu . . . . .	73
4.2.3	Spalné teplo a výhřevnost . . . . .	74
4.2.4	Spalná teplota . . . . .	76
4.2.4.1	Základní druhy spalných teplot . . . . .	77
4.2.4.2	Výpočty spalných teplot . . . . .	78
4.3	Spalování paliv . . . . .	86
4.3.1	Zápalná teplota a meze vznětlivosti . . . . .	87
4.3.1.1	Zápalná teplota . . . . .	87
4.3.1.2	Meze vznětlivosti . . . . .	88
4.3.2	Kinetická, difúzní a přechodová oblast spalování . . . . .	88
4.3.3	Hoření plyných paliv . . . . .	89
4.3.4	Hoření kapalných paliv . . . . .	92
4.3.5	Hoření tuhých paliv . . . . .	92
4.3.6	Výpočty spotřeby vzduchu a množství spalin . . . . .	93
4.3.6.1	Stechiometrické výpočty . . . . .	94
4.3.6.2	Přibližné výpočty . . . . .	105
4.3.7	Kontrola spalování . . . . .	107
4.3.7.1	Analytické metody . . . . .	108
4.3.7.2	Grafické metody . . . . .	110
4.4	Zušlechťování paliv . . . . .	111
4.4.1	Zplyňování paliv . . . . .	111
4.4.1.1	Základní schéma generátoru . . . . .	111
4.4.1.2	Základní zplyňovací reakce . . . . .	112
4.4.1.3	Technologie zplyňování . . . . .	113
4.4.1.4	Druhy generátorového plynu . . . . .	114
4.4.2	Štěpení paliv . . . . .	115
4.4.2.1	Podstata štěpení . . . . .	115
4.4.2.2	Technologie štěpení . . . . .	116
4.5	Oceňování paliv . . . . .	119
4.5.1	Součinitel využití paliva . . . . .	121
4.5.2	Dynamická cena paliva . . . . .	123
4.5.3	Určení ekonomické vhodnosti použití paliv . . . . .	124
4.6	Záměnnost topných plynů . . . . .	127
4.6.1	Zásady stanovení záměnnosti topných plynů . . . . .	127
4.6.2	Metody záměnnosti . . . . .	128
4.6.3	Úprava topných plynů . . . . .	129
4.7	Uskladňování a rozvody topných plynů a olejů . . . . .	130
4.7.1	Uskladňování topných plynů . . . . .	130

4.7.1.1	Plynojemy . . . . .	130
4.7.1.2	Podzemní uskladňování topných plynů . . . . .	135
4.7.2	Uskladňování topných olejů . . . . .	135
4.7.3	Rozvody topných plynů a olejů . . . . .	136
<b>5.</b>	<b>Základy proudění plynu v pecních systémech . . . . .</b>	<b>138</b>
5.1	Úvodní vztahy . . . . .	138
5.2	Základy teorie proudění plynu . . . . .	141
5.2.1	Rozdělení tlaků plynu . . . . .	141
5.2.2	Matematické vyjádření jednotlivých tlaků . . . . .	142
5.2.3	Charakter proudění plynu . . . . .	143
5.2.4	Základní rovnice proudění plynu . . . . .	144
5.3	Ztráty tlaku při proudění . . . . .	145
5.3.1	Ztráty tlaku místními odpory . . . . .	145
5.3.2	Ztráty tlaku třením . . . . .	149
5.3.3	Ztráty tlaku odporem ve svislých kanálech . . . . .	150
5.4	Praktické případy proudění plynu . . . . .	151
5.4.1	Výtok plynu pecními otvory . . . . .	151
5.4.1.1	Otvor s ostrými hranami . . . . .	151
5.4.1.2	Otvor s válcovou trubicí . . . . .	152
5.4.2	Výtok plynu s vysokým tlakem . . . . .	155
5.4.3	Proudění plynu v pecních kanálech . . . . .	155
5.4.4	Proudění plynu v pracovním prostoru pece . . . . .	156
5.4.5	Odvod spalin . . . . .	157
5.5	Recirkulace plynu . . . . .	160
<b>6.</b>	<b>Základy sdílení tepla . . . . .</b>	<b>162</b>
6.1	Základní pojmy a druhy přenosu tepla . . . . .	162
6.2	Sdílení tepla konvekcí . . . . .	163
6.2.1	Fyzikální základy konvekce . . . . .	164
6.2.2	Teoretický základ konvekčního sdílení tepla . . . . .	166
6.2.3	Konvekční přenos tepla při volném proudění . . . . .	168
6.2.3.1	Přirozená konvekce v neomezeném prostoru . . . . .	168
6.2.3.2	Přirozená konvekce v omezeném prostoru . . . . .	170
6.2.4	Konvekční přenos tepla při nuceném proudění . . . . .	171
6.2.4.1	Přenos tepla při laminárním proudění v trubce . . . . .	171
6.2.4.2	Přenos tepla při turbulentním proudění v trubce . . . . .	172
6.2.4.3	Přenos tepla při turbulentním proudění ve svazku trubek . . . . .	173
6.3	Sdílení tepla sáláním . . . . .	175
6.3.1	Podstata tepelného sálání . . . . .	175
6.3.2	Zákony sálání těles . . . . .	176
6.3.3	Sálání mezi dvěma tělesy . . . . .	179
6.3.4	Sálání plynu a plamene . . . . .	181
6.4	Sdílení tepla vedením . . . . .	185
6.4.1	Stacionární (ustálené) vedení tepla . . . . .	186
6.4.1.1	Vedení tepla rovinnou stěnou . . . . .	187
6.4.1.2	Vedení tepla válcovou stěnou . . . . .	189
6.4.2	Nestacionární (neustálené) vedení tepla . . . . .	190
6.5	Kombinovaný přenos tepla . . . . .	197
6.5.1	Kombinovaný přenos tepla sáláním a konvekcí . . . . .	197
6.5.2	Kombinovaný přenos tepla vedením a konvekcí . . . . .	198
<b>7.</b>	<b>Ohřev a ochlazování kovů . . . . .</b>	<b>199</b>
7.1	Fyzikální vlastnosti kovů za různých teplot . . . . .	199

7.2	Sdílení tepla v pracovním prostoru pece . . . . .	201
7.2.1	Vnější přenos tepla v pracovním prostoru pece . . . . .	202
7.2.2	Vnitřní přenos tepla v pracovním prostoru pece . . . . .	207
7.3	Ohřev jednotlivých druhů těles . . . . .	207
7.3.1	Tělesa tenká a tlustá v teorii ohřevu . . . . .	207
7.3.2	Teoretický výpočet ohřevu tenkých těles . . . . .	208
7.3.3	Teoretický výpočet ohřevu tlustých těles . . . . .	209
7.3.3.1	Ohřev při konstantní hustotě tepelného toku na povrch tělesa ( $q = \text{konst}$ ) . . . . .	209
7.3.3.2	Ohřev při konstantní teplotě povrchu tělesa ( $t_{\text{pov}} = \text{konst}$ ) . . . . .	214
7.4	Režim ohřevu kovů . . . . .	218
7.5	Přibližné výpočty doby a rychlosti ohřevu ocelí . . . . .	222
7.6	Technologické zásady ohřevu kovů . . . . .	224
7.6.1	Tepelná pnutí při ohřevu ocelí . . . . .	225
7.6.2	Konečná teplota ohřevu ocelí . . . . .	227
7.6.3	Dovolená nerovnoměrnost ohřevu . . . . .	229
7.7	Oxidace oceli při ohřevu . . . . .	229
7.7.1	Vliv doby a teploty ohřevu . . . . .	229
7.7.2	Vliv chemického složení ohřívané oceli . . . . .	230
7.7.3	Vliv pecní atmosféry a dalších činitelů . . . . .	230
7.7.4	Výpočet množství pecního opalu . . . . .	231
7.8	Ochrana oceli před zokujením při ohřevu . . . . .	232
7.8.1	Ohřev v umělých ochranných atmosférách . . . . .	233
7.8.2	Rychloohřev oceli . . . . .	233
7.8.3	Ohřev při změněném složení pecní atmosféry dosažené změnou spalovacích podmínek . . . . .	234
7.8.4	Ochranné povlaky, ohřev s ochrannou vrstvou plynu na půdě pece a další možnosti ochrany . . . . .	235
8.	<b>Průmyslové pece . . . . .</b>	<b>236</b>
8.1	Materiály pro stavbu pecí . . . . .	236
8.1.1	Žárovzdorné a izolační materiály . . . . .	236
8.1.1.1	Vlastnosti žárovzdorných materiálů a jejich zkoušení . . . . .	237
8.1.1.2	Křemičité materiály . . . . .	240
8.1.1.3	Hlinito-křemičitanové materiály . . . . .	243
8.1.1.4	Vysocehlinité materiály . . . . .	244
8.1.1.5	Magnezitové materiály . . . . .	245
8.1.1.6	Uhlíkové materiály . . . . .	245
8.1.1.7	Speciální materiály . . . . .	246
8.1.1.8	Lehčené a izolační materiály . . . . .	246
8.1.1.9	Žárobetony . . . . .	247
8.1.2	Vhodnost použití žárovzdorných a izolačních materiálů . . . . .	247
8.1.3	Kovové materiály . . . . .	249
8.2	Stavební části pece . . . . .	249
8.2.1	Základní charakteristiky . . . . .	249
8.2.2	Stavební prvky pecí . . . . .	252
8.2.2.1	Základy pecí . . . . .	252
8.2.2.2	Nístěj, stěny a klenba pece . . . . .	252
8.2.2.3	Odtahové kanály a komíny . . . . .	256
8.2.2.4	Armatury a manipulace se vsázkou . . . . .	257
8.2.3	Topný systém . . . . .	258
8.2.3.1	Hořáky na kapalné palivo . . . . .	259
8.2.3.2	Hořáky na plynné palivo . . . . .	265
8.2.4	Výměníky tepla . . . . .	269

8.2.4.1	Rekuperátory . . . . .	271
8.2.4.1.1	Výpočet rekuperátorů . . . . .	271
8.2.4.1.2	Konstrukční provedení rekuperátorů . . . . .	278
8.2.4.2	Regenerátory . . . . .	282
8.3	Průmyslové pece . . . . .	296
8.3.1	Rozdělení pecí . . . . .	296
8.3.2	Druhy pecí . . . . .	300
8.3.2.1	Vysoké pece . . . . .	300
8.3.2.2	Ohříváče větru . . . . .	303
8.3.2.3	Aglomerační zařízení . . . . .	307
8.3.2.4	Kuplovnny . . . . .	307
8.3.2.5	SM pece . . . . .	310
8.3.2.6	Tandemové pece . . . . .	312
8.3.2.7	Konvertory . . . . .	314
8.3.2.8	Mísice . . . . .	316
8.3.2.9	Elektrické pece . . . . .	316
8.3.2.10	Hlubinné pece . . . . .	320
8.3.2.11	Komorové pece . . . . .	323
8.3.2.12	Strkací pece . . . . .	324
8.3.2.13	Pokulovací pece . . . . .	327
8.3.2.14	Karuselové pece . . . . .	329
8.3.2.15	Sklářské pece . . . . .	330
8.3.2.16	Keramické pece kruhové . . . . .	331
8.4	Tepelné režimy pecí a jejich řízení . . . . .	332
8.4.1	Tepelné režimy pecí . . . . .	332
8.4.2	Řízení a regulace pecí . . . . .	336
8.4.3	Zásady bezpečné práce u průmyslových pecí . . . . .	336
<b>9.</b>	<b>Tepelná bilance . . . . .</b>	<b>337</b>
9.1	Bilancování topných paliv . . . . .	338
9.2	Tepelné bilance průmyslových pecí . . . . .	338
9.3	Stanovení základních položek tepelné bilance pece . . . . .	340
9.3.1	Položky příjmu tepla . . . . .	340
9.3.2	Položky výdeje tepla . . . . .	341
9.4	Stanovení spotřeby paliva . . . . .	350
9.5	Účinnost pece . . . . .	350
<b>10.</b>	<b>Druhotné energetické zdroje . . . . .</b>	<b>360</b>
10.1	Charakteristika a možnosti využití druhotných energetických zdrojů . . . . .	360
10.2	Využití citelného tepla odcházejících spalin . . . . .	363
10.3	Využití tepla chladicí vody . . . . .	365
10.3.1	Vodní chlazení . . . . .	366
10.3.2	Horkovodní chlazení . . . . .	368
10.3.3	Expanzní chlazení . . . . .	368
10.3.4	Odpařovací chlazení . . . . .	369
10.3.5	Chlazení látkami o vyšším bodu varu . . . . .	372
10.4	Využití citelného tepla žhavého kovu . . . . .	373
10.5	Využití citelného tepla žhavé strusky . . . . .	375
10.6	Využití citelného tepla žhavého koksu . . . . .	378