

# Obsah

	Předmluva . . . . .	11
<b>1.</b>	<b>Spotřeba tepla ve světě a v ČSSR . . . . .</b>	<b>13</b>
1.1	Celosvětová spotřeba energie . . . . .	13
1.2	Energetická situace v ČSSR . . . . .	15
1.3	Spotřeba tepla při výrobě a zpracování oceli . . . . .	17
<b>2.</b>	<b>Prvotní (vnější) zdroje tepelné energie v průmyslu . . . . .</b>	<b>18</b>
2.1	Paliva v československém průmyslu . . . . .	18
2.1.1	Definice a rozdělení paliv . . . . .	19
2.1.2	Chemické složení paliv . . . . .	21
2.1.3	Spalné teplo a výhřevnost paliv . . . . .	24
2.1.4	Tuhá paliva . . . . .	27
2.1.41	Koksy vyráběné z uhlí . . . . .	28
2.1.42	Práškové uhlí . . . . .	30
2.1.5	Kapalná paliva . . . . .	30
2.1.51	Základní vlastnosti topných olejů . . . . .	31
2.1.52	Topné oleje používané v ČSSR . . . . .	33
2.1.53	Použití benzínu jako paliva . . . . .	34
2.1.6	Plynná paliva . . . . .	35
2.1.61	Zemní plyn . . . . .	35
2.1.62	Karboňský plyn . . . . .	37
2.1.63	Svítiplyn získaný štěpením zemního plynu . . . . .	38
2.1.64	Koksárenský plyn . . . . .	39
2.1.65	Vysokopecní plyn . . . . .	40
2.1.66	Směsný plyn . . . . .	42
2.1.67	Generátorový plyn . . . . .	43
2.2	Teplo získané přeměnou elektrické energie . . . . .	44
2.2.1	Obecné základy . . . . .	44
2.2.2	Vývin tepla při průchodu tuhým nebo kapalným vodivým tělesem . . . . .	45
2.2.3	Vývin tepla průchodem elektrického proudu plynem . . . . .	48

2.2.4	Vývin tepla na úkor kinetické energie elektronů urychlených ve vakuu nebo zředěných plynech . . . . .	51
<b>3.</b>	<b>Spalování paliv . . . . .</b>	<b>52</b>
3.1	Podmínky spalování . . . . .	52
3.2	Spalování paliv tuhých a kapalných . . . . .	53
3.3	Spalování plyných paliv . . . . .	58
3.4	Přibližné metody k rychlému určení množství vzduchu a spalin . . . . .	60
3.5	Zápalná teplota a meze vznětlivosti . . . . .	64
3.6	Rychlost hoření paliv . . . . .	69
3.6.1	Plamen . . . . .	69
3.6.2	Rychlost šíření plamene (rychlost hoření) . . . . .	71
3.6.3	Stabilizace plamene . . . . .	73
3.7	Spalná teplota paliv . . . . .	74
3.7.1	Entalpie plynu . . . . .	74
3.7.2	Spalné teploty a jejich výpočet . . . . .	76
3.8	Kontrola spalování paliv . . . . .	82
<b>4.</b>	<b>Hořáky v průmyslu . . . . .</b>	<b>88</b>
4.1	Plamenné hoření plyných paliv . . . . .	92
4.2	Bezplamenné hoření plyných paliv . . . . .	95
4.3	Teorie hoření kapalných paliv . . . . .	96
4.3.1	Rozprašení kapalného paliva . . . . .	97
4.3.2	Míšení paliva se vzduchem a délka plamene . . . . .	100
4.4	Hořáky na plyné palivo . . . . .	100
4.4.1	Hořáky bez předmíšení plynu a vzduchu . . . . .	101
4.4.11	Dlouhoplamenné hořáky . . . . .	101
4.4.12	Krátkoplamenné hořáky . . . . .	104
4.4.13	Sálavé hořáky . . . . .	107
4.4.2	Hořáky s předmíšením plynu a vzduchu . . . . .	109
4.4.21	Krátkoplamenné hořáky . . . . .	109
4.4.22	Impulsní hořáky . . . . .	113
4.4.23	Bezplamenné hořáky . . . . .	113
4.5	Hořáky na kapalné palivo . . . . .	114
4.5.1	Hořáky rozprašovací . . . . .	115
4.5.11	Mechanické hořáky . . . . .	115
4.5.12	Nízkotlaké hořáky . . . . .	119
4.5.13	Vysokotlaké hořáky . . . . .	126
4.5.14	Kombinované hořáky . . . . .	135
4.5.2	Odpařovací hořáky . . . . .	135
<b>5.</b>	<b>Základy proudění plynu v tepelných zařízeních . . . . .</b>	<b>137</b>
5.1	Úvodní vztahy a pojmy . . . . .	137
5.2	Tlak plynu a podmínky rovnováhy . . . . .	140

5.3	Základy teorie proudění plynu . . . . .	143
5.3.1	Rovnice kontinuity . . . . .	145
5.3.2	Pohybová rovnice . . . . .	145
5.4	Ztráty tlaku při proudění . . . . .	147
5.4.1	Ztráty tlaku třením . . . . .	147
5.4.2	Ztráty tlaku místními odpory . . . . .	149
5.4.3	Vliv geometrického vztlaku . . . . .	149
5.5	Některé praktické případy přeměny potenciální energie v kinetickou . . . . .	154
5.5.1	Výtok nestlačitelného plynu . . . . .	154
5.5.2	Výtok plynu s vysokým tlakem . . . . .	157
5.6	Zvláštnosti proudění plynu v pecích . . . . .	159
5.6.1	Proudění plynu v pracovním prostoru pečí . . . . .	159
5.6.2	Výtok spalin pecními otvory . . . . .	160
5.6.3	Recirkulace spalin . . . . .	162
5.6.4	Proudění plynu v pecních kanálech . . . . .	163
5.6.5	Výpočet komína . . . . .	165
5.7	Teorie podobnosti a modelování . . . . .	170
5.7.1	Fyzikální podobnost — základní pojmy . . . . .	171
5.7.11	Věty (teorémy) podobnosti . . . . .	173
5.7.12	Odvození obecné kritériální rovnice . . . . .	177
5.7.2	Matematická podobnost (analogie) . . . . .	179
5.7.21	Elektroanalogie . . . . .	180
5.7.22	Hydroanalogie . . . . .	181
5.8	Použití teorie podobnosti v praxi . . . . .	183
<b>6.</b>	<b>Základy sdílení tepla . . . . .</b>	<b>187</b>
6.1	Použití teorie podobnosti při sdílení tepla . . . . .	187
6.2	Základní pojmy a druhy přenosu tepla . . . . .	187
6.3	Ustálený přenos tepla vedením . . . . .	191
6.3.1	Základní pojmy a rovnice . . . . .	191
6.3.2	Součinitel tepelné vodivosti . . . . .	192
6.3.3	Vedení tepla rovinnou stěnou . . . . .	194
6.3.4	Vedení tepla válcovou stěnou . . . . .	197
6.4	Přestup tepla konvekcí . . . . .	197
6.4.1	Činitele mající vliv na konvekci . . . . .	198
6.4.2	Součinitel přestupu tepla . . . . .	199
6.4.3	Přenos tepla konvekcí při volném proudění . . . . .	202
6.4.31	Volná konvekce v neomezeném prostoru . . . . .	202
6.4.32	Volná konvekce v omezeném prostoru . . . . .	204
6.4.4	Přenos tepla konvekcí při nuceném proudění . . . . .	205
6.4.41	Konvekce při proudění tekutiny v trubce . . . . .	206
6.4.42	Konvekce při příčném obtékání jednotlivé kruhové trubky . . . . .	207

6.4.43	Konvekce při obtékání svazku trubek . . . . .	208
6.4.44	Nucená konvekce podél rovné desky . . . . .	209
6.4.45	Význam přenosu tepla konvekcí v hutnických pecích . . . . .	211
6.5	Sdílení tepla sáláním . . . . .	212
6.5.1	Základní pojmy . . . . .	212
6.5.2	Základní zákony sálání tuhých těles . . . . .	213
6.5.3	Sdílení tepla sáláním mezi dvěma absolutně černými tělesy . . . . .	217
6.5.4	Sdílení tepla sáláním mezi dvěma šedými tělesy . . . . .	218
6.5.5	Vliv stínících ploch . . . . .	220
6.5.6	Sálání otvorem v pecní stěně . . . . .	221
6.5.61	Sálání otevřeným otvorem . . . . .	221
6.5.62	Sálání zakrytým otvorem pece . . . . .	222
6.5.63	Nomografické určení ztrát tepla sáláním pecními otvory zakrytými i odkrytými . . . . .	223
6.5.7	Sálání plynu (selektivní nebo objemové sálání plynu) . . . . .	227
6.5.8	Sálání mezi plynem a šedým tělesem . . . . .	230
6.6	Kombinovaný přenos tepla . . . . .	232
6.6.1	Kombinovaný přenos tepla vedením a konvekcí . . . . .	232
6.6.2	Kombinovaný přenos tepla konvekcí a sáláním . . . . .	233
6.7	Nestacionární sdílení tepla vedením . . . . .	235
6.7.1	Teoretické řešení nestacionárního sdílení tepla . . . . .	235
6.7.2	Přibližné řešení nestacionárního sdílení tepla metodou konečných rozdílů . . . . .	243
6.8	Sdílení tepla v pracovním prostoru pece . . . . .	246
<b>7.</b>	<b>Ohřev a ochlazování kovů . . . . .</b>	<b>257</b>
7.1	Vliv doby ohřevu na výkon pece . . . . .	257
7.2	Rozlišení vsázky na tenká a tlustá tělesa . . . . .	258
7.3	Fyzikální vlastnosti kovů při různých teplotách . . . . .	259
7.4	Ohřev tenkých těles . . . . .	266
7.5	Ohřev tlustých těles . . . . .	268
7.5.1	Základní fáze řádu (režimu) ohřevu . . . . .	269
7.5.2	Výpočet řádu ohřevu . . . . .	270
7.5.21	Určení vnějšího tepelného toku . . . . .	270
7.5.22	Určení vnitřního tepelného toku . . . . .	271
7.5.23	Určení doby ohřívací fáze . . . . .	272
7.5.24	Určení doby vyrovnávací fáze . . . . .	278
7.5.25	Určení doby ochlazovací fáze . . . . .	284
7.6	Technologické zásady ohřevu kovů . . . . .	285
7.6.1	Volba řádu (režimu) ohřevu . . . . .	285
7.6.2	Dovolená rychlost ohřevu . . . . .	286
7.6.3	Přípustná teplota pece . . . . .	288
7.6.4	Dovolený teplotní spád ke konci ohřevu . . . . .	290

7.6.5	Konečná teplota ohřevu oceli . . . . .	290
7.7	Opal oceli (okuje) při ohřevu . . . . .	291
7.7.1	Vliv doby ohřevu . . . . .	292
7.7.2	Vliv teploty ohřevu . . . . .	293
7.7.3	Vliv chemického složení oceli . . . . .	294
7.7.4	Vliv složení pecní atmosféry . . . . .	294
7.7.5	Vliv tlaku v pracovním prostoru pece . . . . .	295
7.7.6	Výpočet množství okují vznikajících při ohřevu . . . . .	295
7.7.7	Cesty ke zmenšení opalu oceli . . . . .	296
<b>8.</b>	<b>Výměníky tepla v průmyslu . . . . .</b>	<b>297</b>
8.1	Důležitost získávání tepla odpadajících spalin . . . . .	297
8.2	Výhody a nedostatky přehřívání spalovacích složek . . . . .	298
8.2.1	Úspora paliva . . . . .	298
8.2.2	Zvýšení spalné teploty . . . . .	299
8.2.3	Zvýšení rychlosti hoření a výkonu pece . . . . .	300
8.2.4	Problémy při přehřívání vzduchu a plynu . . . . .	300
8.3	Tepelný výpočet výměníku . . . . .	301
8.3.1	Základní rovnice výměníku . . . . .	301
8.3.2	Výpočet množství předaného tepla . . . . .	302
8.3.3	Průměrný logaritmický teplotní rozdíl . . . . .	302
8.3.4	Součinitel prostupu tepla . . . . .	305
8.3.5	Teplota stěny výhřevné plochy a součinitel zředění spalin . . . . .	308
8.3.6	Účinnost výměníků při souproudu a protiproudu . . . . .	309
8.3.7	Postup tepelného výpočtu výměníků . . . . .	311
8.3.8	Hydraulický výpočet výměníku . . . . .	311
8.4	Rekuperátory . . . . .	311
8.4.1	Roztřídění rekuperátorů . . . . .	312
8.4.2	Keramické rekuperátory . . . . .	313
8.4.3	Kovové rekuperátory . . . . .	315
8.4.3.1	Rekuperátory konvekčního typu . . . . .	315
8.4.3.2	Rekuperátory radiačního typu . . . . .	320
8.4.3.3	Rekuperátory radiačně konvekčního typu . . . . .	321
8.4.4	Provozní charakteristiky jednotlivých typů rekuperátorů . . . . .	324
8.5	Regenerátory . . . . .	324
8.5.1	Konstrukce regenerátorů . . . . .	325
8.5.2	Přenos tepla v regeneračních výměnících . . . . .	327
8.5.3	Zvláštnosti tepelného výpočtu regenerátorů . . . . .	329
8.5.4	Stanovení rozměrů regenerátorů . . . . .	330
8.5.5	Provoz a provozní charakteristiky regenerátorů . . . . .	331
8.5.6	Příklad výpočtu regenerátoru . . . . .	332
8.6	Cowperovy ohříváče vysokopecního větru . . . . .	335
8.7	Spalinové kotle . . . . .	337

<b>9.</b>	<b>Tepelné bilance průmyslových pecí</b>	<b>338</b>
9.1	Rovnice tepelné bilance	338
9.2	Položky přívodu tepla	339
9.2.1	Chemicky vázané teplo paliva	339
9.2.2	Citelné teplo předehřátého vzduchu	340
9.2.3	Citelné teplo předehřátého paliva	340
9.2.4	Teplo exotermických reakcí	340
9.3	Položky výdeje tepla	341
9.3.1	Užitečné teplo potřebné k ohřevu kovu	341
9.3.2	Ztráty tepla spalinami	342
9.3.3	Ztráty tepla chemickou nedokonalostí hoření	342
9.3.4	Ztráty tepla mechanickou nedokonalostí hoření	343
9.3.5	Ztráty tepla zdivem pece	344
9.3.6	Ztráty tepla dveřmi, okny a štěrbínami pece	347
9.3.7	Ztráty tepla chladicí vodou	348
9.3.8	Ztráty tepla ohřevem pohybujících se částí	349
9.3.9	Ztráty tepla okujemi	350
9.3.10	Ztráty zbývající	350
9.4	Ukazatele charakterizující práci pece	350
9.5	Příklad sestavení tepelné bilance průmyslové pece	355
	Literatura	360
	Přílohy	363