

Obsah

Úvod	11
Přehled použitých označení a indexů	13
1. Potřeba a spotřeba tepla v soustavách centralizovaného zásobování teplem	17
1.1 Potřeba tepla pro obytné oblasti	17
1.1.1 Potřeba tepla pro vytápění obytných budov	18
1.2 Potřeba tepla pro průmyslové závody	34
1.3 Vliv klimatických prvků a povětrnostních vlivů na vytápění a větrání	39
2. Soustavy centralizovaného zásobování teplem (informativní přehled)	43
2.1 Zdroje tepla	43
2.2 Tepelné sítě	45
2.3 Předávací stanice	45
2.4 Vnitřní (odběratelské) zařízení	46
3. Zařízení pro připojení tepelných sítí ve zdroji tepla	47
3.1 Parní redukční a chladicí stanice	47
3.2 Výměnková stanice	51
3.3 Úprava vody	54
3.4 Zařízení pro doplňování tepelných sítí	59
3.5 Čerpadla	61
4. Tepelné sítě	63
4.1 Rozdělení tepelných sítí. Druhy tepelných sítí	63
4.1.1 Tepelná síť jednotrubková	64
4.1.2 Tepelná síť dvoutrubková	65
4.1.3 Tepelná síť třítrubková	65
4.1.4 Síť s jednotlivými napáječi	68
4.1.5 Síť s jednotlivými napáječi vzájemně spojenými	69
4.1.6 Síť okružní	69
4.1.7 Síť s pomocným napáječem	70
4.1.8 Síť se zásobníkem tepla	71
4.1.9 Síť nadzemní	72
4.1.10 Síť podzemní v teplovodních kanálech	74
4.1.11 Bezkanálové konstrukce tepelných sítí	76
4.2 Volba teplotnosné látky	82
4.3 Proudění vody a páry potrubím	84
4.3.1 Množství nositele tepla	84

4.3.2	Rovnice spojitosti a Bernoulliho rovnice	87
4.3.2.1	Bernoulliho rovnice pro proudění kapalin	88
4.3.2.2	Bernoulliho rovnice pro páry a plyny	89
4.3.3	Tlakové ztráty v potrubí kruhového průřezu	90
4.3.3.1	Reynoldsovo číslo	90
4.3.3.2	Součinitel hydraulického tření λ v trubkách kruhového průřezu	92
4.3.3.3	Drsnost vnitřního povrchu trubek	95
4.3.3.4	Úhrnná délka potrubí	97
4.3.3.5	Tlakové ztráty vodních tepelných sítí	97
4.3.3.6	Tlakové ztráty parního potrubí parních tepelných sítí	99
4.3.3.7	Tlakové ztráty kondenzátního potrubí parních tepelných sítí	105
4.4	Určení průměru potrubí	105
4.4.1	Předběžný odhad průměru potrubí	105
4.4.2	Výpočet průměru potrubí z dané nebo směrné hodnoty tlakové ztráty nebo tlakového spádu	107
4.4.2.1	Výpočet průměru potrubí vodních tepelných sítí	109
4.4.2.2	Výpočet průměru parního potrubí parních tepelných sítí	109
4.4.2.3	Výpočet průměru kondenzátního potrubí parních tepelných sítí	110
4.4.3	Určení hospodářsky nejvýhodnějšího průměru potrubí	111
4.5	Tlakové poměry v potrubí	113
4.5.1	Charakteristika potrubí	113
4.5.2	Průběh tlaku v potrubí	115
4.5.2.1	Průběh tlaku za normálního provozu	115
4.5.2.2	Průběh tlaku v krajních provozních stavech	117
4.5.3	Průběh tlaku v tzv. Tichelmannově okruhu	119
4.6	Přečerpávací stanice	119
4.7	Základy pevnosti a pružnosti potrubí tepelných sítí	125
4.7.1	Hlavní a srovnávací napětí a dovolené namáhání	125
4.7.2	Namáhání vnitřním přetlakem	129
4.7.3	Odpory proti pohybu v pohyblivých uloženích potrubí	131
4.7.4	Odpor kompenzátorů proti vyrovnávání roztahování potrubí teplem	132
4.7.5	Zakotvení potrubí	132
4.7.6	Ohyb potrubí vlastní tíhou	134
4.7.7	Rozteč uložení potrubí	135
4.7.8	Ohyb a krut kompenzačních útvarů potrubí a kompenzátorů z trubek	136
4.7.9	Napětí v trubce ohnuté do kruhového oblouku	136
4.7.10	Tloušťka stěny trubky	140
4.8	Provedení a montáž potrubí	143
4.9	Provoz tepelných sítí	150
4.9.1	Přejímka	150
4.9.2	Spouštění tepelných sítí	153
4.9.3	Odstavení	157
4.10	Uplatnění počítačů (číslicových a analogových) při navrhování a provozu tepelných sítí	158
5.	Izolace	163
5.1	Úvod	163
5.1.1	Obecně o pohybu vlhkosti	163
5.1.1.1	Pohyb vlhkosti zeminou	166
5.1.1.2	Pohyb vlhkosti v betonu	168
5.1.1.3	Navlhání tepelných izolací	170
5.1.2	Tepelné izolace	172
5.1.2.1	Tepelné izolace používané v zahraničí	173
5.1.2.2	Konstrukce používané v ČSSR	179
5.1.2.2.1	Vlastnosti tepelných izolací používaných v ČSSR	180
5.1.2.2.2	Pěnobeton	181
5.1.2.2.3	Hydrofobizované zásypy	185
5.1.2.2.4	Vláknité izolace	189
5.1.2.2.5	TIAL	191
5.1.2.2.6	Tepelné izolační tvárnice	192
5.2	Tepelné ztráty	192
5.2.1	Jednotková ztráta tepla izolovanou trubkou	194
5.2.2	Teplotní spád	197
5.2.3	Měrná tepelná vodivost tepelných izolací a zemin	202

5.2.4	Jednotková tepelná ztráta tepelně izolovaných potrubí uložených v zemi	206
5.2.5	Jednotková tepelná ztráta ocelové trubky bez tepelné izolace v uzavřeném prostoru s klidným vzduchem	208
5.2.6	Ztráty tepla ostatními částmi potrubí	209
5.2.7	Roční hodnota ztrát tepla tepelných sítí	210
5.2.8	Pokles teploty nebo množství nositele tepla proudícího tepelnou sítí	211
5.2.9	Pokles teploty odstaveného potrubí tepelné sítě	212
5.2.10	Hospodářsky nejvýhodnější tloušťka tepelné izolace	213
6.	Koroze a ochrana proti ní	217
6.1	Koroze kovů	217
6.1.1	Základní pojmy koroze	217
6.1.2	Elektrochemické pochody v systému voda — kov	218
6.1.3	Voda a elektrolyty	219
6.1.4	Korozní reakce kovů	219
6.1.5	Nejdůležitější pojmy korozního děje	221
6.1.6	Korozní faktory	224
6.1.7	Koroze nejdůležitějších konstrukčních materiálů	226
6.1.8	Koroze v atmosféře	228
6.1.9	Koroze vnějšího povrchu potrubí	230
6.1.9.1	Mechanismus koroze vnějšího povrchu potrubí	232
6.2	Koroze bludnými proudy a aktivní ochrana	235
6.2.1	Koroze bludnými proudy	235
6.2.1.1	Ochrana proti bludným proudům	236
6.2.2	Katodická ochrana	243
6.2.2.1	Použití katodické ochrany pro potrubí tepelných sítí	245
6.2.2.2	Použití katodické ochrany pro výměníky	246
6.2.3	Elektrolytická protikorozní úprava vody	252
6.2.4	Elektrochemická protikorozní úprava vody ve filtrech	254
6.3	Vnitřní koroze v soustavách centralizovaného zásobování teplem	255
6.3.1	Korozní podmínky	255
6.3.2	Vliv jednotlivých faktorů na korozi ve vodách	256
6.3.2.1	Vliv rozpuštěného kyslíku	257
6.3.2.2	Vliv koncentrace vodíkových iontů a kyslíčnicku uhlíčitěho	258
6.3.2.3	Vliv kyselého uhlíkatého vápenatého	258
6.3.2.4	Vliv aniontů a kationtů	259
6.3.2.5	Vliv proudění	259
6.3.2.6	Vliv zvýšené teploty	260
6.3.3	Koroze párou	260
6.3.4	Koroze kondenzátních potrubí parních tepelných sítí	262
6.3.4.1	Ochrana kondenzátu před stykem se vzduchem	263
6.3.4.2	Potrubí z materiálů s vyšší korozní odolností	265
6.3.4.3	Úpravy napájecí a kondenzátní vody	266
6.3.4.4	Protikorozní opatření daná provozem	268
6.3.5	Horkovodní a teplovodní otopné soustavy	268
6.3.5.1	Horkovodní soustavy	268
6.3.5.2	Teplovodní otopná soustava	269
6.3.5.2.1	Úprava vody v teplovodních soustavách	270
6.3.6	Soustavy teplé užitkové vody	271
6.3.6.1	Vliv složení vody	271
6.3.6.2	Koroze používaných materiálů	272
6.3.6.3	Ochranné povlaky	273
6.3.6.4	Úprava vody	274
6.3.6.4.1	Úprava proti vylučování vodního kamene	275
6.3.6.4.2	Úprava vody proti korozi	277
6.3.6.5	Konstrukční opatření a způsob provozu	281
6.3.7	Čištění soustav od inkrustací a korozních zplodin	281
6.3.8	Metody pro sledování agresivity vod a účinnosti úpravy vod	282
7.	Spotřebitelské předávací stanice	286
7.1	Předávací stanice v parních tepelných sítích	288
7.1.1	Přípojky od tepelné sítě k předávací stanici	288

7.1.2	Předávací stanice parních otopných soustav	290
7.1.2.1	Připojení nízkotlaké parní otopné soustavy redukční stanicí	291
7.1.2.2	Připojení nízkotlaké parní otopné soustavy měničem páry	292
7.1.3	Předávací stanice teplovodních otopných soustav	293
7.1.4	Zařízení pro přípravu teplé užitkové vody	296
7.1.5	Kondenzační hospodářství	299
7.1.5.1	Vracení kondenzátu do výroby tepla v otevřeném okruhu	299
7.1.5.2	Vracení kondenzátu do výroby tepla v uzavřeném okruhu	302
7.1.5.3	Využití kondenzátu bez vracení do výroby tepla	303
7.2	Předávací stanice ve vodních tepelných sítích	303
7.2.1	Přípojky od tepelné sítě k předávací stanici	304
7.2.2	Předávací stanice nízkotlakých parních otopných soustav	305
7.2.3	Předávací stanice teplovodních otopných soustav	306
7.2.3.1	Předávací stanice v teplovodních tepelných sítích	306
7.2.3.1.1	Tlakově závislé připojení samotížné otopné soustavy k teplovodní tepelné síti dvourubkovým systémem se směšovací smyčkou	306
7.2.3.1.2	Tlakově závislé připojení otopné soustavy s nuceným oběhem dvourubkovým systémem	307
7.2.3.1.3	Tlakově závislé připojení samotížné otopné soustavy a zařízení pro ohřev užitkové vody k tepelné síti třítrubkovým systémem	307
7.2.3.1.4	Tlakově závislé připojení otopné soustavy s nuceným oběhem a zařízení pro ohřev užitkové vody k tepelné síti třítrubkovým systémem	309
7.2.3.2	Předávací stanice v horkovodních tepelných sítích	310
7.2.3.2.1	Tlakově závislé připojení teplovodních otopných soustav pomocí směšovacích ejektorů	310
7.2.3.2.2	Tlakově závislé připojení teplovodních otopných soustav pomocí směšovacích čerpadel	315
7.2.3.2.3	Tlakově nezávislé připojení teplovodních otopných soustav pomocí výměníků tepla	319
7.2.3.3	Předávací stanice s víceetapovým chlazením	320
7.2.4	Zařízení pro přípravu teplé užitkové vody	321
7.2.4.1	Přímý odběr teplé užitkové vody z tepelné sítě	322
7.2.4.2	Příprava teplé vody v ohřívácích a zásobnících	323
7.3	Příslušenství spotřebitelských předávacích stanic a zásady jeho výpočtu a volby	325
7.3.1	Výměníky tepla	325
7.3.1.1	Postup tepelného výpočtu výměníku tepla	333
7.3.1.2	Vztahy pro výpočet geometrických parametrů výměníku	337
7.3.1.3	Výpočtové vztahy pro stanovení součinitele přestupu tepla na straně vody	337
7.3.1.4	Výpočtové vztahy pro stanovení součinitele přestupu tepla na straně páry	339
7.3.1.5	Postup výpočtu hydraulického odporu výměníku tepla	344
7.3.1.5.1	Výpočet tlakových ztrát při proudění uvnitř trubek	344
7.3.1.5.2	Výpočet tlakových ztrát při proudění na vnější straně trubek	346
7.3.1.6	Provoz výměníků tepla při dílčím zatížení	347
7.3.1.7	Ohříváky teplé užitkové vody	354
7.3.2	Směšovací ejektory	360
7.3.3	Oběhová čerpadla	363
7.3.3.1	Stanovení provozních parametrů čerpadel	363
7.3.3.2	Charakteristické křivky čerpadel	366
7.3.3.3	Stabilita a labilita charakteristiky $Q - H$	367
7.3.3.4	Paralelní chod čerpadel	368
8.	Spotřebitelské soustavy a spotřebiče tepla	371
8.1	Rozdělení spotřebitelských soustav	371
8.2	Spotřebiče tepla	373
8.2.1	Otopná tělesa	373
8.2.1.1	Otopná tělesa s přirozeným pohybem vzduchu	373
8.2.1.2	Otopná tělesa s nuceným pohybem vzduchu	385
8.2.1.3	Vliv umístění otopných těles v místnosti na jejich výsledný účinek	389
8.2.2	Sálavé otopné plochy	389
8.2.2.1	Velkoplošné sálavé otopné plochy	390
8.2.2.2	Volně zavěšené sálavé panely	393
8.2.2.3	Lamelové sálavé otopné plochy	394
8.2.3	Ostatní spotřebiče tepla	397

9.	Měření, regulace, automatizace	398
9.1	Měření	398
9.1.1	Měření spotřeby tepla	398
9.1.1.1	Problémy měření bytové spotřeby tepla	399
9.1.1.2	Měřiče kalorimetrické	400
9.1.1.2.1	Měřiče mechanické	400
9.1.1.2.2	Měřiče elektrické	401
9.1.1.2.3	Měřiče založené na měření kondenzátu	405
9.1.1.3	Zjednodušené kalorimetrické metody měření tepla a metody ostatní	405
9.1.1.4	Měřiče rozdělení — proporcionální	406
9.1.1.4.1	Měřiče termočlávkové	406
9.1.1.4.2	Měřiče odpařovací	408
9.1.1.4.3	Měřiče s odporovými teploměry	410
9.1.1.4.4	Měřiče deformační	410
9.1.1.4.5	Měřiče tepla Calom	411
9.1.2	Měření vlastností tepelných izolací	412
9.1.2.1	Charakteristické vlastnosti tepelných izolací	412
9.1.2.2	Měření tepelné vodivosti izolace	413
9.1.2.2.1	Laboratorní měření za ustáleného stavu	413
9.1.2.2.2	Laboratorní měření za neustáleného stavu	416
9.1.2.2.3	Provozní měření tepelné vodivosti	419
9.1.2.3	Měření jiných vlastností tepelných izolací	423
9.2	Regulace soustavy centralizovaného zásobování teplem	423
9.2.1	Regulace soustav ohřevu užitkové vody	450
9.3	Zabezpečovací a signalizační zařízení pro předávací stanice a otopné soustavy	452
9.4	Ústřední teplotní dispečink	455
9.5	Prvky regulačních systémů v praxi ústředního vytápění a soustav centralizovaného zásobování teplem	458
9.5.1	Čidla	458
9.5.2	Regulátory	459
9.5.2.1	Regulátory teploty	460
9.5.2.1.1	Přímočinné regulátory teploty	460
9.5.2.1.2	Regulátory teploty s pomocným zdrojem energie	466
9.5.2.2	Regulátory tlaku	481
9.5.2.2.1	Přímočinné regulátory tlaku	481
9.5.2.3	Regulátory tlakové difference a průtočného množství	487
9.5.3	Akční orgány	491
9.5.3.1	Regulační ventily	491
9.5.3.2	Regulovatelné směšovací ejektory	500
9.5.3.3	Regulátory odtoku kondenzátu (omezovače)	502
10.	Hospodaření teplem	504
10.1	Vliv správného dimenzování jednotlivých částí rozvodu tepla	504
10.2	Vliv správného hydraulického vyregulování	509
10.3	Vliv dodržování parametrů teplotnosné látky	509
10.4	Vliv regulačních zařízení	514
10.5	Vliv individuálního měření a tarifní politiky	518

Přílohy (pod páskou)

1. Diagram pro určení jednotkové tlakové ztráty (SI)
2. Diagram pro určení jednotkové tlakové ztráty (TS)
3. Diagram pro určení jednotkového rozdílu dvojmočí tlaků na začátku a na konci úseku potrubí (SI)
4. Diagram pro určení jednotkového rozdílu dvojmočí tlaků na začátku a na konci úseku potrubí (TS)