

SADRŽAJ

UVOD	11
Dizajniranje aparata za razmenu toplote	12
Metodologija proračuna razmenjivača toplote	13
a) Projektni zadatak ili režim rada razmenjivača toplote	13
b) Termički ili toplotni proračun razmenjivača toplote	14
c) Hidraulički ili strujni proračun razmenjivača toplote	15
d) Mehanički proračun ili proračun čvrstoće razmenjivača toplote	15
e) Optimizacija ili minimalna cena razmenjivača toplote	16
1. GEOMETRIJA DOBOŠASTIH RAZMENJIVAČA TOPLOTE	17
1.1. Klasifikacija razmenjivača toplote	18
a) Klasifikacija prema transformaciji procesnog fluida	18
b) Klasifikacija prema funkcionalno-tehničkom rešenju	19
c) Klasifikacija prema režimu rada aparata	20
d) Rekuperativni razmenjivači toplote	21
1.2. Dobošasti razmenjivači toplote	28
1.3. Geometrija dobošastih razmenjivača toplote	35
a) Konfiguracija strujanja	24
b) Broj i raspored otvora u cevnoj ploči – mrežni raspored	39
c) Geometrijski odnosi cevnog rasporeda U-cevi	42
d) Iskustvene preporuke osnovne geometrije	47
e) Geometrija poprečnog strujanja u omotaču razmenjivača	62
f) Geometrija orebrenih razmenjivača toplote	70
1.4. Označavanje dobošastih razmenjivača toplote	73
2. TERMIČKE I STRUJNE PODLOGE PRORAČUNA DOBOŠASTIH RAZMENJIVAČA TOPLOTE	75
2.1. Razmena toplote	75
2.2. Teorije sličnosti pri razmeni toplote	79
a) Bezdimenzioni brojevi na bazi termodinamičke sličnosti	81
b) Bezdimenzioni brojevi na bazi hidrodinamičke sličnosti	83
2.3. Provođenje, prelaz i prolaz toplote	87
a) Provođenje toplote kroz čvrsta tela, kondukcija	87

b) Prelaz toplote sa čvrstih tela na fluide, konvekcija	93
c) Prolaz toplote	94
d) Razučene površine razmene	98
2.4. Transport toplote pri promeni faze	102
2.4.1. Kondenzacija	105
a) Filmska kondenzacija na vertikalnim površinama	105
b) Filmska kondenzacija na horizontalnim cevima	107
c) Filmska kondenzacija u horizontalnim cevima	108
d) Uticaji na intenzitet kondenzacije	109
e) Toplotni bilans kondenzatora	109
2.4.2. Isparavanje	115
2.5. Osnovne jednačine i bezdimenzioni odnosi pri proračunu razmenjivača toplote	117
a) Bilansne jednačine	117
b) Jednačina razmene toplote	119
c) Odnos toplotnih ekvivalenata	119
d) Efikasnost razmenjivača	120
e) Broj jedinica prenosa NTU (Number of Transfer Unit)	120
2.6. Strujne podloge razmenjivača toplote	122
a) Strujanje i pad pritiska fluida u cevima	122
b) Poprečno nastrujavanje cevi i cevnog registra	125
3. EFEKTIVNA TEMPERATURSKA RAZLIKA	127
3.1. Osnovne konfiguracije strujanja	127
3.1.1. Paralelno strujanje	128
a) Istosmerno strujanje	131
b) Suprotnosmerno strujanje	136
3.1.2. Unakrsno strujanje	142
3.1.3. Osnovna strujanja pri promeni faze	147
3.1.4. Upoređenje osnovnih šema strujanja	150
3.1.5. Temperaturski dijagrami procesa i granica razmene toplote osnovnih strujanja	152
3.2. Uticaj realnih uslova na temperatursku razliku	158
3.3. Kombinovano strujanje	162
3.3.1. Kombinovano strujanje tipa 2n1	164
3.3.2. Multiplikacija strujanja tipa 2n1	167
3.3.3. Granica razmene toplote kombinovanog strujanja	173
3.3.4. Empirijska jednačina konfiguracije	176
3.4. Uticaj razmene toplote na izbor režima rada razmenjivača toplote	178
4. KOEFICIJENT PROLAZA TOPLOTE	182
4.1. Eksperimentalno određivanje koeficijenta prolaza toplote	183
4.2. Zaprljanje površina razmene	187
4.3. Koeficijent prelaza toplote konvekcijom	191
4.3.1. Konvekcija u cevi ili duž zida	191

a) Prirodna konvekcija u velikoj zapremini	192
b) Laminarna konvekcija u cevi i oko nje	193
c) Turbulentna konvekcija u cevi i oko nje	196
d) Konvekcija u cevi i oko nje u prelaznoj oblasti	199
4.3.2. Prelaz toplote pri poprečnom strujanju	204
a) Poprečno nastrojana glatka cev	206
b) Poprečno nastrojana orebrena cev	207
c) Poprečno nastrojani snop glatkih cevi	208
d) Poprečno nastrojani snop orebrenih cevi	217
4.4. Prelaz toplote pri promeni faze	219
4.4.1. Kondenzacija	219
a) Kondenzacija na vertikalnom zidu i cevima	220
b) Kondenzacija na snopu horizontalnih cevi	221
c) Kondenzacija unutar horizontalne cevi	188
4.4.2. Isparavanje	224
5. TERMIČKI PRORAČUN RAZMENJIVAČA TOPLOTE	226
5.1. Osnovne postavke proračuna	226
5.2. Rejting problem. Proračun razmenjivača toplote poznate geometrije i konfiguracije	228
5.3. Dizajn problem. Oblikovanje razmenjivača toplote	233
5.4. Rejting i dizajn problem pri promeni faza	236
a) Dizajn problem pri promeni faze	237
b) Rejting problem pri promeni faze	240
5.5. Analiza rejting i dizajn problema	245
5.6. Provera razmenjivača u kliznom režimu	248
5.6.1. Klizni režim grejanja objekta	248
5.6.2. Razmenjivač toplote u kliznom režimu	255
5.7. Serija razmenjivača toplote	256
5.8. Razmenjivač toplote u eksploataciji. Dijagrami garancije	260
5.9. Kontrolni termički proračun razmenjivača toplote	265
6. STRUJNI PRORAČUN DOBOŠASTIH RAZMENJIVAČA TOPLOTE	273
6.1. Pad pritiska pri strujanju fluida u registru	274
6.2. Pad pritiska pri strujanju fluida u omotaču razmenjivača toplote	277
6.2.1. Uzdužno strujanje u omotaču	277
6.2.2. Poprečno strujanje u omotaču	278
a) Postupak prema Gadisu	279
b) Postupak prema Bel-Delevaru	283
6.3. Pad pritiska u komorama i priključcima razmenjivača toplote	289
6.4. Pad pritiska u razmenjivaču toplote za fluide sa promenom faze	291

7. PRORAČUN ČVRSTOĆE KONSTRUKCIJE DOBOŠASTIH RAZMENJIVAČA TOPLOTE	296
7.1. Opšti uslovi izrade, montaže i eksploatacije posuda pod pritiskom	298
7.2. Proračun čvrstoće delova razmenjivača toplote	308
7.2.1. Izbor materijala i proračunski podaci	309
7.2.2. Proračun omotača glave i registra (JUS M.E2.253)	311
7.2.3. Proračun torisferičnog dna (JUS M.E2.252)	312
7.2.4. Proračun ravnih dna (JUS M.E2.259)	314
7.2.5. Proračun vijaka glave razmenjivača (JUS M.E2.257)	314
7.2.6. Proračun cevne ploče i spoja ploče sa cevima (JUS M.E2.259)	321
7.2.7. Proračun prirubnica razmenjivača toplote (JUS M.E2.258)	324
7.2.8. Proračun debljine zida cevi registra (JUS M.E2.260)	327
7.2.9. Proračun ojačanja izreza (JUS M.E2.256)	328
8. OPTIMIZACIJA RAZMENJIVAČA TOPLOTE	332
8.1. Uticaj osnovnog režima rada na izbor razmenjivača toplote ..	333
8.2. Uticaj granica sistema na izbor razmenjivača toplote	335
8.3. Uticaj najniže cene na izbor razmenjivača toplote	336
8.4. Uticaj dopunskih kriterijuma na izbor razmenjivača toplote ..	342
8.5. Procedura proračuna razmenjivača toplote	344
Literatura	353
PRILOZI	357