

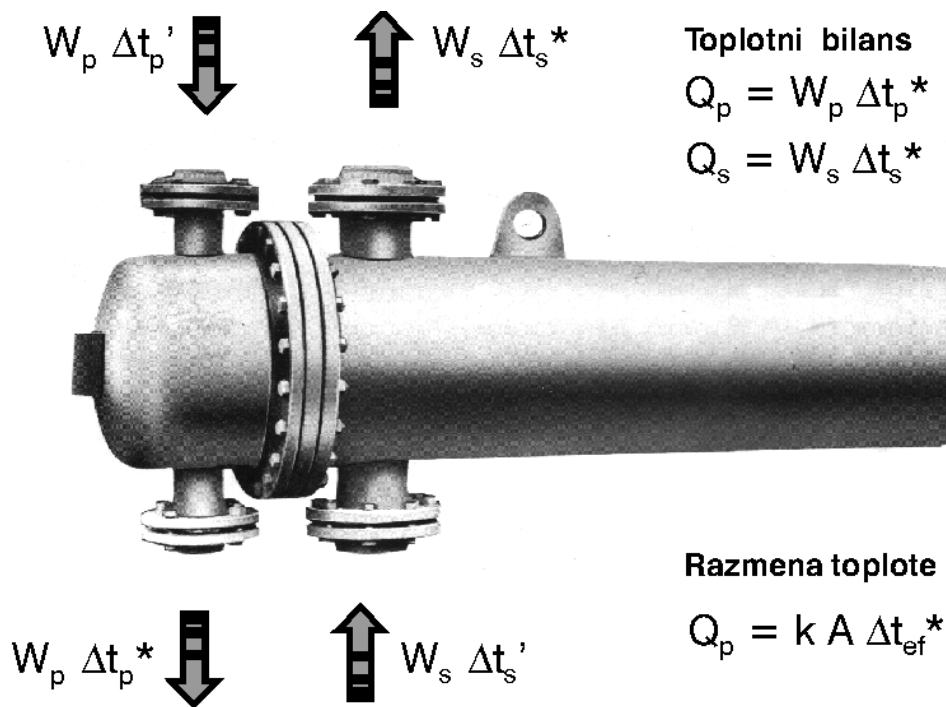
POSTUPAK PRORAČUNA DOBOŠASTIH RAZMENJIVAČA TOPLOTE PRIMENOM PROGRAMA **Microsoft Excel**

Milan Rikalović, dipl.maš.inž. PROTEUS Loznica

Pripremljeno za TOP YU 99, Niš 1999 god.
Nije održano, zbog NATO bobmardovanja.

A. Definisane probleme koji treba rešiti

Razmenjivači toplote su aparati u kojima se vrši transformacija toplotne energije sa jednog radnog na drugi radni fluid, što se može posmatrati kao jedan termotehnički sistem prikazan na slici br. 1. Razmatramo slučaj kad su radni fluidi tečnosti.



Slika 1. Termotehnički sistem sa razmenjivačem toplote

Dakle, imamo dva radna fluida (primar koji predaje i sekundar koji prima toplotu), dva ulaza i izlaza iz sistema i aparat u kome se vrši razmena toplote, pri čemu nema mešanja radnih fluida. Odziv sistema su izlazne temperature i razmenjena količina toplote.

Navedene su dve jednačine koje definišu proces razmene toplote. Toplotni bilans povezuje veličine toplotnog ekvivalenta i promena temperatura radnih fluida, i koja ne zavisi od aparata gde se razmena vrši. Jednačinom toplotnog bilansa se utvrđuje tzv. REJTING (rating) termotehničkih veličina radnih fluida. Jednačina razmene toplote definiše uticaj aparata na tok razmene toplote preko faktora ($k A$). Dakle u drugoj jednačini postoji uticaj

geometrije aparata preko navedenog faktora, pa se pomoću nje rešava problem dimenzionisanja ili DIZAJNA (design) razmenjivača toplote.

Ovde posebno napominjemo da su količina razmenjene toplote izlazne temperature fluida iz razmenjivača (oznaka sa *) odziv sistema, koje treba odrediti. Ovo zbog toga što se redovno u razmenjivačima toplote za potrebe daljinskog indirektnog grejanja zadaje željena količina toplote - računski kapacitet Q_R i temperature ulaza i izlaza u sistemu, koji u suštini služe samo za određivanje protoka fluida, pri čemu će odziv sistema biti stvarno razmenjena količina toplote Q_{RT} i izlazne temperature radnih fluida zavisno od aparata. Dobar aparat je onaj koji ostvaruje $Q_{RT} \approx Q_R$ sa izlaznim temperaturama bliskim zadatim.

Sada možemo definisati tehnički problem koji želimo rešiti:

a). Na raspolaganju nam je razmenjivač toplote poznate geometrije i režima rada, potrebno je odrediti odziv sistema. Ovo je lakši problem, u praksi redji, jer obično raspoloživi aparat ne zadovoljava zahtevane kriterijume.

Ovaj postupak proračuna se naziva REJTING.

b). Definisana je serija razmenjivača toplote, (ili zadati konstruktivni kriterijumi) i poznat režim rada sistema, potrebno je odrediti najpovoljniji razmenjivač toplote. Ovo je DIZAJN postupak, tj. postupak oblikovanja aparata.

Osnovni problem ovog postupka je što odziv sistema zavisi od aparata, koji upravo dimenzionišemo. Zbog toga je neophodan tzv. iterativni proračun koji se sastoji iz prethodnog i naknadnog. U prethodnom proračunu se na bazi kriterijuma određuje geometrija aparata, a zatim u naknadnom postupku vrši kontrolni proračun razmenjivača (problem a). Ukoliko odziv sistema ne odgovara zadatim kriterijumima vrši se novi proračun za drugu geometriju - nova iteracija.

Svaki proizvođač razmenjivača toplote na bazi prethodnog postupka je odredio seriju za koju ima definisanu geometriju aparata. Definisana serija olakšava postupak dimenzionisanja aparata utoliko što postoje podaci za prethodni postupak, ali je i dalje neophodna iterativnost postupka, što bez primene računara predstavlja dvostruku teškoću: dužina postupka i mogućnost greške je velika, da bi posle sprovedenog postupka utvrdili da treba nova iteracija.

Za rešenje ovog problema postoje posebne aplikacije (npr. B.JACK, SAD), međjutim problem se može rešiti zadovoljavajuće korišćenjem prisutnih tabelarnih programa, od kojih je svakako najbolji Microsoft Excel, što prikazujemo u ovom radu. Za potrebe rada korišćen je Excel97 u Windows 95 (ili Win98, NT4).

B. Tehničke karakteristike sistema

a) Geometrija razmenjivača toplote:

- Materijal cevnog registra i omotača (plašta): Bakar Cu, gvoždje Fe, itd.
- Poprečni presek - površina preseka registra F_r [m²] i omotača F_o [m²].
- Poprečni presek se definiše rasporedom i brojem otvora na ploči registra n [-], dimenzijama cevi $\phi d \times s$ i omotača $\Phi D \times s$ [m].
- Broj prolaza fluida nosioca toplote u registru i u omotaču z_r i z_o .
- Pod jednim prolazom se podrazumeva put od jedne dužine razmenjivača, fluida u kontaktu preko površine razmene. Od broja prolaza i od načina kako se oni ostvaruju u razmenjivaču zavisi tzv. efektivna temperaturska razlika Δt_{ef} .
- Površina razmene je najčešće spoljnja površina cevnog registra koja razdvaja fluide nosioce toplote A [m²].

b) Režim rada sistema:

Režim rada sistema je skup zadatih elemenata koji definišu fluide nosioce toplote u radnim uslovima i tok razmene toplote. Fluidi nosioci toplote su radni fluidi koji medjusobno razmenjuju toplotu: Primar je toplotni izvor koji predaje toplotu sekundaru koji je toplotni ponor.

Ograničenja sistema se postavljaju pri izradi i eksploataciji izmenjivača, nezavisno od režima.

Osnovni režim rada sistema:

1. Radni fluidi: Naziv, sastav i termotehničke veličine stanja na srednjim radnim temperaturama (specifična toplota c [kJ/kgK], gustina ρ [kg/m³], koeficijent provođenja toplote λ [W/mK] i kinematska viskoznost ν [m²/s], ili dinamička viskoznost η [kg/ms] .
2. Radne temperature fluida, koje se definišu na ulazu u razmenjivač toplote za primarni t'_p [°C] i sekundarni fluid t'_s [°C].
3. Maseni m_p, m_s [kg/s] ili zapreminski protoci radnih fluida V_p, V_s [m³/s].

Kod daljinskih sistema grejanja, često se umesto protoka fluida, zadaje računski kapacitet sistema Q_R [kW] i temperatura radnih fluida na izlazu iz izmenjivača t''_p, t''_s [°C], odnosno:

$$\Delta t_p = t'_p - t''_p, \quad \Delta t_s = t''_s - t'_s.$$

Protoci se onda računaju prema izrazu:

$$m = \frac{Q_R}{|t'_p - t''_p|}, \quad V = \frac{Q_R}{(c \rho) |t'_p - t''_p|},$$

gde se termotehničke veličine uzimaju za srednju temperaturu $(t' + t'')/2$.

Znak temperaturske razlike govori o smeru toplotnog fluksa; ako je pozitivan radni fluid se hladi predaje toplotu, ako je negativan radni fluid se greje prima toplotu.

4. Radni, odnosno maksimalni pritisci na strani primarnog odnosno sekundarnog fluida. Pritisci su veoma bitni za proračun čvrstoće razmenjivača.

c) Dopunski kriterijumi i ograničenja:

Na izbor razmenjivača, pored osnovnog režima mogu uticati i dopunski kriterijumi i ograničenja pri ugradnji ili eksploataciji. Ove kriterijume definiše naručilac ili proizvođač.

Dopunski kriterijumi su pre svega:

1. Zaprljanje površina razmene toplote.
2. Promena temperatura radnih fluida (klizanje) u funkciji vremena ili spoljnje temperature.
3. Raspored radnih fluida u aparatu (u registru i plaštu).

Ograničenja mogu biti:

1. Raspoloživi pad pritiska koji se može dopustiti u razmenjivaču, odnosno sistemu.
2. Gabariti konstrukcije (uslov smeštaja), pre svega dužina aparata, tehnologija čišćenja i održavanja, agresivnosti radnih fluida na izabrane materijale, itd.
3. Ekonomičnost konstrukcije, odnosno najniža cena proizvoda.

Zaprljanje površina razmene, tokom vremena slabi razmenu toplote usled naslaga kamenca ili taloga čvrstih čestica na površinu razmene. Ako je koeficijent prolaza toplote za čist razmenjivač k_c , a za radne uslove (zaprljan razmenjivač) k_{op} , onda se definiše uticaj zaprljanja kao faktor čistoće $C_f = k_{op} / k_c$.

Uticaj zaprljanja raste sa porastom koeficijenta prolaza toplote k_c odnosno faktor čistoće opada. U realnim uslovima razmene ovaj faktor je: $C_f = 0,5 - 0,8$.

Ukoliko se zaprljanje prethodno ne definiše, može biti uzrok velikih nesporazuma u eksploataciji razmenjivača, zbog toga bi trebalo da ga definiše naručilac, s obzirom na to da značajno poskupljuje cenu proizvoda.

Za Beogradske elektrane kao distributera toplotne energije ustalio se zahtev za otpor usled zaprljanja $R_{fp} = R_{fs} = 0,25 \text{ (m}^2\text{K/kW)}$.

Klizanje temperatura radnih fluida, je kriterijum koji uzima u obzir nestacionarnost radnog režima, najčešće se uzima u obzir kod sistema daljinskog grejanja. Pošto viskozitet vode raste sa opadanjem temperature vode, to koeficijent prolaza toplote opada. Zbog toga je za proračun razmenjivača u uslovima klizanja merodavan proračun na tzv. kontrolnoj temperaturi, ne na projektnoj temperaturi. Kontrolni režim definišu toplane, (ili ga usvaja projektant $+5^\circ\text{C}$). (Beogradske elektrane: za režim $150/75-70/90^\circ\text{C}$, kontrolni režim je na $+8^\circ\text{C}$, $70/45-43/50^\circ\text{C}$, a za režim $140/75-70/90^\circ\text{C}$ na $+7^\circ\text{C}$, $70/47-45/52^\circ\text{C}$).

Ako se razmenjivač izabere za navedeni uslove, isti će zadovoljiti u području: projektni uslovi – čist razmenjivač, do kontrolni uslovi – zaprljan razmenjivač. Ovo područje možemo nazvati "kontrolisanim područjem" režima rada.

Razmenjivač se bira kao zaprljan u kontrolnim uslovima, u ostalim uslovima kontrolisanog području rada ima više izlaze od zahtevanih pa se mora se predvideti regulacija izlazne temperature sekundara (ili ulazne primara).

Raspored radnih fluida u aparatu je u principu proizvoljan, osim ukoliko nema posebnih razloga (kao npr. čišćenje ili sl.). U principu u cevni registar treba staviti topliji fluid, zbog manjih gubitaka toplote u okolinu. Tehnološki se u razmenjivaču toplote veći poprečni presek ostvaruje u omotaču pa iz razloga većih brzina cirkulacije u omotač se postavlja radni fluid koji ima veći protok.

Ograničenja sistema, imaju uticaj na izbor razmenjivača toplote tako, da ukoliko odstupaju od proračunskih, povećavaju cenu proizvoda. Oni se kontrolišu u toku proračuna.

C. Odziv sistema

Odziv sistema je kao što smo naveli: Stvarna količina razmenjene toplote (tj. kapacitet razmenjivača) i izlazne temperature radnih fluida.

Kapacitet razmenjivača se računa prema navedenom izrazu:

$$Q_{RT} = k A \Delta t_{ef}^* \text{ [kW]},$$

Koeficijent prolaza toplote k je veličina koja zavisi od geometrije razmenjivača i termotehničkih veličina stanja radnih fluida. Izbor kriterijalne jednačine je važan, često je potrebno proračun izvesti na bazi više autora kriterijalnih jednačina zavisno od modela

strujanja fluida. Najznačajni je faktor uticaja na koeficijent prolaza toplote je za tečne radne fluida brzina strujanja. U ovom delu proračuna se koeficijent prolaza toplote računa paralelno preko kriterijuma Hauszena, i ruskih SNIP normi, a moguće ga je proširiti i na druge autore (McAdams, Gnielinski itd.) Ovaj postupak trenutno koriguje proračun na bazi promena ulaznih veličina.

Efektivna temperaturska razlika zavisi od smera strujanja radnih fluida u kontaktu. Za suprotnosmerno strujanje, koje daje najveću razliku definiše se tzv. srednja logaritamska temperaturska razlika *LMTD* (prema starijoj terminologiji – Δt_{ln}).

$$LMTD^* = \frac{\Delta t_u^* - \Delta t_i^*}{\ln \frac{\Delta t_u^*}{\Delta t_i^*}} = \frac{\Delta t_p^* - \Delta t_s^*}{\ln \frac{\theta - \Delta t_s^*}{\theta - \Delta t_p^*}} \quad [K],$$

gde je: $\theta = t'_p - t'_s$ [K], maksimalna razlika temperatura radnih fluida u razmenjivaču,

$\Delta t_u^* = t'_p - t''_s$ [K], razlika temperatura radnih fluida na mestu ulazu primara,

$\Delta t_i^* = t''_p - t'_s$ [K], razlika temperatura radnih fluida na mestu izlazu primara,

$\Delta t_p^* = t'_p - t''_p$ [K], promena (razlika) temperatura primara u razmenjivaču,

$\Delta t_s^* = t''_s - t'_s$ [K], promena (razlika) temperatura sekundara u razmenjivaču.

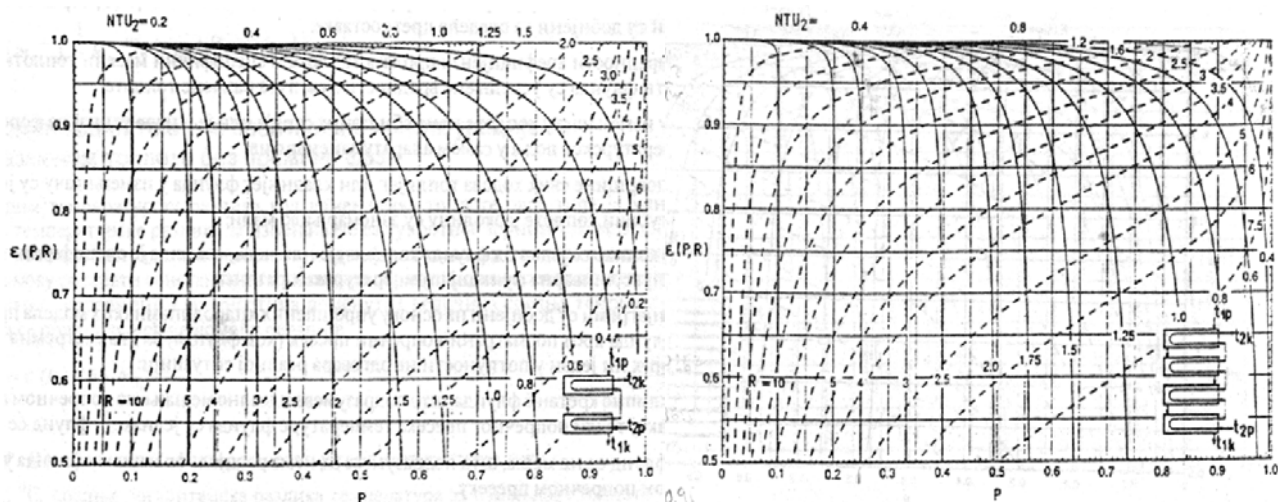
U slučaju kada je: $\Delta t_u^* = \Delta t_i^*$ (tada je i $\Delta t_p^* = \Delta t_s^*$), $LMTD = \Delta t_u^* = \Delta t_i^* = \theta - \Delta t_p^* = \theta - \Delta t_s^*$.

Razlika izmedju ostvarenih izlaznih temperatura (oznaka sa zvezdicom) u odnosu na zadate prema režimu rada nastaje usled uticaja geometrije izmenjivača i režima rada u eksploataciji (npr. uticaj zaprljanja).

Dobošasti razmenjivači imaju najčešće suprotnosmerno strujanje (tipa 2/2 i 4/4), i kombinovano strujanje (tipa 4/2, 6/2, 8/2 i 8/4).

Uticaj istosmernog strujanja u kombinovanoj šemi zamenjujemo sa korekcionim faktorom za *LMTD* (η), pri čemu je:

$$\Delta t_{ef}^* = \eta LMTD^* \quad [K],$$



Slika 2. Dijagram radnih karakteristika za dobošaste razmenjivače toplote sa DVA (levo), odnosno sa ČETIRI (desno) prolaza u omotaču i svaki sa parnim brojem prolaza u registru

Korekcionni faktor $\eta = 1$, za suprotnosmerno strujanje, a za ostale slučajeve uzimamo ga iz tabela ili dijagrama (slika 2) u zavisnosti od broja prolaza i tipa strujanja.

Iz bilansnih jednačina za radne fluide mogu se izračunati stvarne razlike temperatura:

$$\Delta t_p^* = \frac{Q_{RT}}{W_p}, \quad \Delta t_s^* = \frac{Q_{RT}}{W_s} \text{ [K]},$$

gde su W_p i W_s [kW/K] tzv. toplotni ekvivalenti, koji se računaju:

$$W_p = m_p c_p = V_p (c \rho)_p, \quad W_s = m_s c_s = V_s (c \rho)_s,$$

ako su poznati protoci radnih fluida,

$$W_p = \frac{Q_R}{\Delta t_p}, \quad W_s = \frac{Q_R}{\Delta t_s},$$

ako je poznat računski kapacitet sistema i zadata (deklarisana) promena temperature radnih fluida Δt_p , odnosno Δt_s .

U jednačini razmene toplote možemo efektivnu razliku temperature napisati:

$$LMTD^* = \frac{Q_{RT}}{k A} = \frac{\Delta t_p^* - \Delta t_s^*}{\ln \frac{\theta - \Delta t_s^*}{\theta - \Delta t_p^*}}, \text{ dobija se:}$$

$$\Delta t_p^* = \eta \frac{E-1}{E-R_p}, \quad \Delta t_s^* = R_p \Delta t_p^*, \text{ gde je:}$$

$$R_p = \frac{W_p}{W_s} = \frac{\Delta t_s}{\Delta t_p}, \text{ ili } R_s = \frac{W_s}{W_p} = \frac{\Delta t_p}{\Delta t_s}, \text{ odnos toplotnih ekvivalenata.}$$

(Prema Evropskom prestandardu ENV 306:1990E, Razmenjivači toplote - Definicije performansi razmenjivača toplote i opšti postupci ispitivanja radi utvrđivanja performansi razmenjivača toplote, koriste se oznake $R_p=y_p$, $R_s=y_s$).

$$E = e^{\eta NTU_p (1-R_p)} = e^{\eta k A \frac{\Delta t_p - \Delta t_s}{Q_R}}, \text{ bezdimenzioni broj.}$$

$$NTU_p = \frac{k A}{W_p} = \frac{\Delta t_p}{\Delta t_{ef}}, \text{ broj jedinica prenosa ili toplotna dužina primara,}$$

$$NTU_s = \frac{k A}{W_s} = \frac{\Delta t_s}{\Delta t_{ef}}, \text{ broj jedinica prenosa ili toplotna dužina sekundara.}$$

U bezdimenzionom broju E se sadrži uticaj geometrije aparata na stvarne temperaturske razlike koje se ostvaruju pri razmeni toplote.

Određivanjem stvarnih temperaturskih razlika u razmenjivaču može se odrediti i kapacitet razmenjivača toplote, bilo iz bilansnih jednačina ili jednačine razmene toplote.

Specifičan slučaj nastaje kada je $\Delta t_s = \Delta t_p$, tada će biti i $\Delta t_s^* = \Delta t_p^*$ i $R_p = R_s = 1$, odnosno u jednačinama za Δt_{ef}^* i Δt_p^* nastaju neodređeni slučajevi $0/0$, koji se rešavaju poznatom metodom granične vrednosti derivacije količnika. U tom slučaju se dobija:

$$\Delta t_p^* = \Delta t_s^* = \eta \theta \frac{NTU_p}{1 + \eta NTU_p}, \quad NTU_s = NTU_p.$$

Toplotna efikasnost razmenjivača (pogonska karakteristika razmenjivača) definiše se kao odnos promene temperature radnog fluida u odnosu na maksimalnu razliku temperatura, pa nastaje:

$$P = \frac{\Delta t_p}{\theta} = \frac{E-1}{E-R_p}, \quad R_p < 1, \text{ ako je } R_s < 1 \text{ umesto indeksa p uvesti indeks s.}$$

$$P = \frac{\Delta t_p}{\theta} = \frac{\eta NTU_p}{1 + \eta NTU_p}, \quad R_p = R_s = 1.$$

Razmenjivač toplote ima maksimalnu količinu razmenjene toplote pri ravnotežnom stanju pri beskonačnoj dužini razmenjivača, u tom slučaju dolazi do izjednačavanja izlazne temperature primara sa ulaznom temperaturom sekundara ($R_p < 1$), ili izlazne temperature sekundara sa ulaznom temperaturom primara ($R_p > 1$).

Maksimalna temperaturska razlika sekundara za $R_p < 1$ je: $\Delta t_{smax}^* = t_{smax}'' - t_s' = \theta R_p$,

Maksimalna temperaturska razlika primara za $R_s < 1$ je: $\Delta t_{pmax}^* = t_p' - t_{pmin}'' = \theta R_s$.

Granični kapacitet razmenjivača toplote, pri beskonačno velikoj dužini aparata je:

$$Q_{RTmax} = W_s \Delta t_{smax}^* = \frac{Q_R \theta R_p}{\Delta t_s} = \frac{Q_R \theta}{\Delta t_p}, \quad \text{pri } R_p < 1 (W_p < W_s),$$

$$Q_{RTmax} = W_p \Delta t_{pmax}^* = \frac{Q_R \theta R_s}{\Delta t_p} = \frac{Q_R \theta}{\Delta t_s}, \quad \text{pri } R_s < 1 (W_s < W_p),$$

U specifičnom slučaju, kada je $R_p = R_s = 1$, ($W_p = W_s$), $\Delta t_{pmax}^* = \Delta t_{smax}^* = \theta$, odnosno razmenjivač postiže uvek maksimalni kapacitet za te uslove.

Temperaturski režimi, kod kojih se odnos $\theta / \Delta t$ približava jedinici, imaju asimptotsko približavanje izlazne temperature ulaznoj temperaturi (primara ili sekundara), pa kod njih nema nikakvog smisla povećavati površinu razmene, jer je kapacitet razmenjivača dostigao skoro maksimalnu vrednost. Nasuprot tome razmenjivači toplote koji rade u režimu kod koga je $\theta / \Delta t > 1,5$ imaju mogućnost da sa povećanjem dužine poveća površina razmene a time realno povećava i kapacitet razmene toplote.

D. Aplikacija Vitex 3 (verzija 3)

Aplikacija Vitex3 je uradjena u Excel programu i potpuno prati navedeni postupak proračuna. Sastoji se od glavnog i pomoćnih programa. U glavnom programu se radi kontrolni ili projektni proračun razmenjivača toplote. Pomoćni programi sadrže postupak izrade kliznog dijagrama kvalitativne regulacije, izradu TEIT liste (liste tehničkih podataka), kalkulacija i izrada ponude i tzv. garanciju kapaciteta, odnosno podatke o odzivu izabranog aparata pri promeni protoka (računskog kapaciteta).

Ovde ćemo objasniti proceduru predviđenu glavnim programom za sledeći primer:
Izabrati razmenjivač VITUS kapaciteta $Q_R=800$ kW za režim Beogradskih elektrana:

Projektni uslovi: $t_{sp} = -15$ °C , Primar: Vrela voda 150/75 °C , $p_t/p_{max} = 15/25$ bar

Sekundar: Topla voda 70/90 °C , $p_t/p_{max} = 4/6$ bara.

Kontrolni uslovi: $t_{sp} = 8$ °C , Primar: 70/45 °C , Sekundar: 43/50 °C

Dopunski uslovi: Toplotni otpor zaprljanja $R_{fp} = R_{fs} = 0,25$ (m² K/kW),

Maksimalni pad pritiska na strani primara je $\Delta p_{pmax} = 13$ kPa,

Cevni registar-bakarne cevi, maksimalna dužina razmenjivača $L=3,3$ m.

Postupak počinje unošenjem podataka u radni list "podaci za proračun": Unose se zadati podaci i to samo za plava polja, ostala se automatski izračunavaju. Podatke koji nisu zadati unosi projektant, to se pre svega odnosi na granice brzina strujanja i pretpostavljeni koeficijent razmene toplote za prethodni proračun, pri čemu su date preporuke za ove vrednosti.

U istom programu otvara se radni list "prethodni" u koji su prethodno uneti podaci o geometriji serije razmenjivača toplote. U ovaj list se prenose zadati podaci i odmah mogu očitati razmenjivači iz serije koji zadovoljavaju ove uslove, to su razmenjivači koji imaju unete vrednosti površine preseka, istovremeno na strani registra i omotača.

Iz prethodnog proračuna su popisane oznake šest razmenjivača koji zadovoljavaju date uslove i oni se upisuju u radni list podaci za proračun, sa potrebnim podacima iz geometrije iz dokumentacije razmenjivača toplote.

Kontrolni proračun možemo izvesti za bilo koji (ili sve) prethodno izabrane razmenjivače toplote, tako što ćemo podatke iz geometrije razmenjivača uneti u kolonu aktuelnog izbora, pri čemu se kontrolni proračun odvija u radnom list "kontrolni", a deo rezultata istovremeno prenose u radni list "prethodni podaci". Ovde možemo varirati rezultate usvajanjem raznih dužina registra i broja istih razmenjivača (za rednu vezu). U radnom listu "kontrolni" možemo razgledati ostale rezultate proračuna, kao i menjati podatke za pomoćne programe. U kontrolnom listu "cene" se vrši zadavanje cena materijala i rada za izradu kalkulacija cene razmenjivača.

Konačan izbor razmenjivača vrši se prema dodatnim uslovima (zahtevani pad pritiska i kalkulatívnoj ceni razmenjivača).

U prilogu su dati pdf. izgledi Excelove aplikacije.

LITERATURA:

- [1] Jaćimović, B., Genić, S.: Toplotne operacije i aparati, Mašinski fakultet Beograd, 1992.
- [2] Slipčević, B.: Razmenjivači toplote, SMEITS, Beograd 1989.
- [3] Jaćimović, B., Genić, S., Nadj, M., Laza, J.: Problemi iz toplotnih operacija i aparata SMEITS i Mašinski fakultet, Beograd 1996 god.
- [4] Rikalović, M.: Efektivna razlika temperatura pri razmeni toplote KGH 3/1995, Beograd

- [5] Rikalović, M.: Kriterijumi za izbor dobošastih razmenjivača toplote (shell and tube), za uslove razmene: tečnost - tečnost, Zbornik radova 29 Kongresa KGH 1998, Beograd
- [*] Evropski prestandard ENV 306:1990E, Izmenjivači toplote - Definicije performansi izmenjivača toplote i opšti postupci ispitivanja radi utvrđivanja performansi izmenjivača toplote.
- [*] Prospekti izmenjivača VITUS.

Rad završen
28.02.1999 god.

Autor:

Rikalović Milan, dipl.maš. inž.