

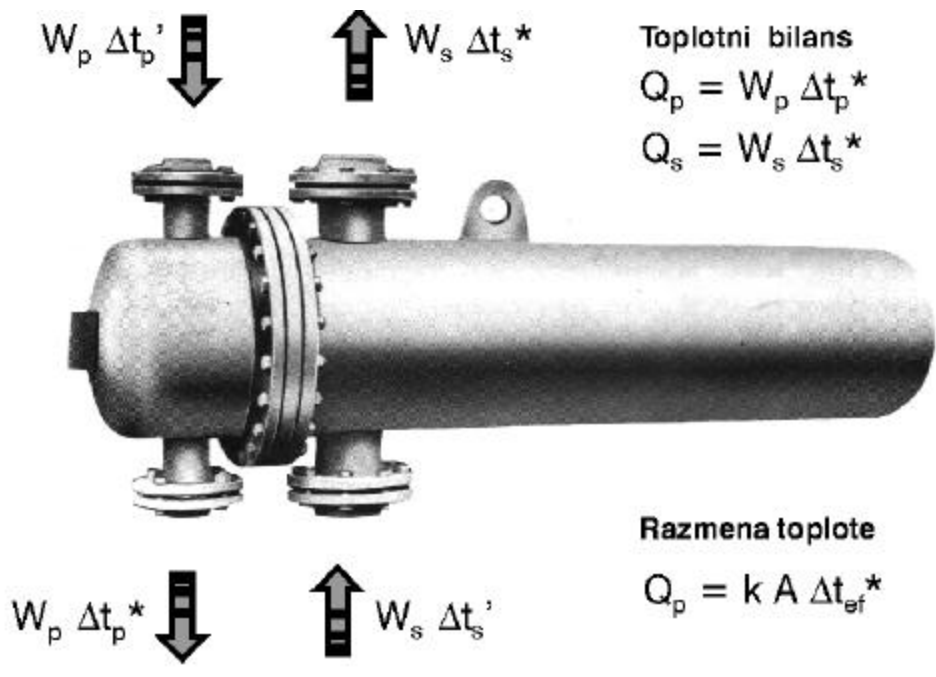
REJTING I DIZAJN PROBLEM PRI PRORA^UNU RAZMENJIVA^A TOPLOTE

Milan Rikalovi}, dipl.ma{.in`. PROTEUS Loznica

Rad objavljen u TEHNI^KOJ REVJI, BEOGRAD, br. 14. april 2001.

A). Definisane problema koji treba re{iti

Razmenjiva-i toplote su aparati u kojima se vr{i transformacija toplotne energije sa jednog radnog na drugi radni fluid, {to se mo`e posmatrati kao jedan termotehni-ki sistem prikazan na slici br. 1. Razmatramo slu-aj kad su radni fluidi te-nosti.



Slika 1. Termotehni-ki sistem sa razmenjiva-em 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 vr{i razmena toplote, pri -emu nema me{anja radnih fluida. Odziv sistema su izlazne temperature i razmenjena koli-ina toplote.

Navedene su dve jedna-ine koje defini{u proces razmene toplote. Toplotni bilans povezuje veli-ine toplotnog ekvivalenta i promena temperatura radnih fluida, i koja ne zavisi od aparata gde se razmena vr{i. Jedna-inom toplotnog bilansa se utvr|uje tzv. REJTING (rating) termotehni-kih veli-ina radnih fluida. Jedna-ina razmene toplote defini{e uticaj aparata na tok razmene toplote preko faktora ($k A$). Dakle u drugoj jedna-ini postoji uticaj geometrije aparata preko navedenog faktora, pa se pomo}u nje re{ava problem dimenzionisanja ili DIZAJNA (design) razmenjiva-a toplote.

Ovde posebno napominjemo da su koli-ina razmenjene toplote izlazne temperature fluida iz razmenjiva-a (oznaka sa $*$) odziv sistema, koje treba odrediti. Ovo zbog toga {to se redovno u razmenjiva-ima toplote za potrebe daljinskog indirektnog grejanja zadaje `eljena koli-ina toplote - ra-unski kapacitet Q_R i temperature ulaza i izlaza u sistemu, koji u su{tini slu`e samo za odredjivanje protoka fluida, pri -emu }e odziv sistema biti stvarno razmenjena koli-ina toplote Q_{IT} i izlazne temperature radnih fluida zavisno od aparata.

B). Kontrolni proračun ili REJTING problem.

Na raspolaganju nam je razmenjivač. Poznate veličine:

- maseni protoci radnih fluida: m_p i m_s ,
- temperature radnih fluida na ulazu: t_p' , t_s' ,
- specifična toplota radnih fluida na ulazu c_p' i c_s'
- proizvod koeficijenta prolaza toplote i površine kA .

Potrebno je odrediti:

- razmenjenu količinu toplote u razmenjivaču Q ,
- temperature radnih fluida na ulazu: t_p'' , t_s'' .

Proračun mora biti iterativan, jer pošto ne znamo odziv sistema, ne možemo znati ni srednje temperature radnih fluida koje su nam potrebne za veličine stanja za određivanje bezdimenzionih brojeva. U prvoj iteraciji veličine stanja uzimamo za temperature fluida na ulazu u razmenjivaču toplote.

Iz poznatih veličina se mogu odrediti toplotni ekvivalenti (W je manji a W_v veći od W_p i W_s) i broj jedinica prenosa.

$$W_p = m_p c_p, \quad W_s = m_s c_s, \quad R = W / W_v \quad (1)$$

$$NTU = \frac{kA}{W} = \frac{\Delta t_e}{\frac{Q}{W}} = \frac{\Delta t_v}{\Delta t_e} \quad (2)$$

Konfiguracija (ili forma) strujanja je poznata, odnosno zna se razmeštaj fluida i broj prolaza fluida u registru i omotaču razmenjivača. pa je za se mogu koristiti odnosi između veličina NTU , P i R dati pomoću jednačina ili dijagrama za određivanje efikasnosti razmenjivača $P = \Delta t_v / \theta = f(NTU, R)$.

NAPOMENA: O konfiguraciji strujanja i efikasnosti razmenjivača toplote u nekom od narednih brojeva.

Pošto je određena efikasnost razmenjivača P , dalji proračun je jednostavan

$$\Delta t_v = P q, \quad \Delta t_m = R \Delta t_v = R P q, \quad \Delta t_e = \frac{\Delta t_v}{NTU} = \frac{P q}{NTU}, \quad e = \frac{P}{NTU} \frac{q}{LMTD} \quad (3)$$

Upotreбили smo, oznaku veće temperaturske razlike primara ili sekundara Δt_v koji ima manji toplotni ekvivalent W , θ je najveća temperaturska razlika u razmenjivaču $\theta = t_p' - t_s'$, a ϵ korekcionni faktor konfiguracije strujanja odnosno stepen odstupanja efektivne temperaturske razlike u razmenjivaču od srednje logaritamske temperaturske razlike $LMTD$, $\Delta t_e = \epsilon LMTD$. Odziv sistema je određen. Toplotna snaga razmene može se računati preko bilansnih jednačina ili preko jednačine razmene toplote (bilo koji od izraza):

$$Q = W \Delta t_v = W_v \Delta t_m = kA \Delta t_e = kA \frac{Pq}{NTU} = W P q = kA e LMTD \quad (4)$$

Temperature radnih fluida na izlazu iz razmenjivača toplote su:

$$t_p'' = t_p' - \Delta t_v \text{ ako je } W_p = W, \quad t_p'' = t_p' - \Delta t_m \text{ ako je } W_s = W \quad (5)$$

$$t_s'' = t_s' + \Delta t_m \text{ ako je } W_p = W, \quad t_s'' = t_s' + \Delta t_v \text{ ako je } W_s = W \quad (6)$$

Postupak nije završen. Za drugu iteraciju proračuna veličine stanja radnih fluida uzimamo za srednje temperature: $t_{p,ss} = (t_p' + t_p'')/2$, $t_{s,ss} = (t_s' + t_s'')/2$ i postupak se ponavlja po istom redosledu kao za prvu iteraciju. Broj iteracija je određen tolerancijom razlike izlaznih

temperatura dve uzastopne iteracije. Za temperature je dovoljno da rezultat proračuna bude tačan na dve decimale. Izračunata izlazna temperatura poslednje iteracije predstavlja ostvarenu temperaturu na izlazu razmenjivača toplote koju smo označili sa, primara t_p^* , odnosno sekundara t_s^* . Tabelaarne aplikacije su najjednostavniji programi pomoću kojih se jednostavno rešava rejting problem, od kojih je najbolji Microsoft Excel.

Rejting problem je lakši problem, u praksi redji, jer obično raspoloživi aparat ne zadovoljava zahtevane kriterijume.

C). Dimenzionisanje aparata ili DIZAJN problem.

Definisana je serija razmenjivača toplote, (ili zadati konstruktivni kriterijumi) i poznat režim rada sistema, potrebno je odrediti najpovoljniji razmenjivač toplote:

Poznate veličine:

- maseni protoci radnih fluida: m_p i m_s ,
- temperature radnih fluida na ulazu: t_p' , t_s' ,
- specifična toplota radnih fluida na ulazu c_p' i c_s'
- izlazna temperatura jednog radnog fluida.

Izlazna temperatura drugog radnog fluida se zadaje u varijanti kada su protoci zadati preko toplotnog kapaciteta razmene, inače moguće je ostvariti samo jednu zadanu izlaznu temperaturu

Iz bilansnih jednačina odmah se može odrediti količina razmenjene toplote na strani radnog fluida poznate izlazne temperature. Ako pretpostavimo da je poznata izlazna temperatura primara biće:

$$Q = m_p c_p (t_p' - t_p'') = W_p \Delta t_p = W_s \Delta t_s \Rightarrow \Delta t_s = \frac{Q}{W_s} = \frac{W_p}{W_s} \Delta t_p \quad (7)$$

Za fluid poznate izlazne temperature veličine stanja uzimamo za srednju temperaturu, a za drugi radni fluid veličine stanja se uzimaju za prvu iteraciju za temperaturu na ulazu.

Iz poznatih veličina se mogu odrediti toplotni ekvivalenti (W je manji a W_v veći od W_p i W_s) i odnos toplotnih ekvivalenata.

$$W_p = m_p c_p, \quad W_s = m_s c_s, \quad R = W / W_v = \Delta t_m / \Delta t_v \quad (8)$$

Određivanjem temperaturskih razlika radnih fluida utvrđuje se koja je razlika veća i pomoću maksimalne temperaturske razlike $\theta = t_p' - t_s'$ određujemo efikasnost razmenjivača toplote.

$$P = \frac{\Delta t_v}{q} \quad (9)$$

Dalji proračun je uslovljen izborom konfiguracije strujanja, odnosno mora se doneti neka od geometrijskih odluka (da li će strujanje biti paralelno, unakrsno ili kombinovano). Za usvojenu konfiguraciju strujanja moramo poznavati funkciju $NTU = f(a, P, R)$, bilo analitički ili grafički. Za usvojenu konfiguraciju dobija se broj jedinica prolaza NTU, prema (2) je:

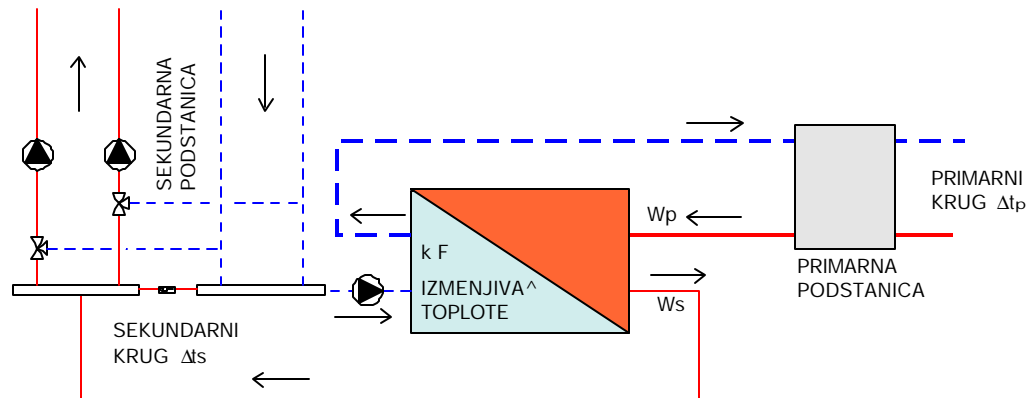
$$k A = NTU W \quad (10)$$

Dalje je:

$$\Delta t_e = \frac{\Delta t_v}{NTU} = \frac{P q}{NTU}, \quad e = \frac{P}{NTU} \frac{q}{LMTD}, \quad Q = W \Delta t_v = W_v \Delta t_m = k A \Delta t_e \quad (11)$$

Kako je koeficijent prolaza toplote u funkciji geometrije razmenjivača toplote, neophodno je definisati bazni presek razmenjivača i odrediti koeficijent prolaza toplote prema odgovarajućim kriterijalnim jednačinama (Hauzan, Gnielinski itd.). Iz jednačine (11)

može se zaključiti da dizajn problem nije jednoznan odnosno da postoji beskonačno mnogo konstrukcija razmenjivača koje će imati isto kA . Usvajanjem geometrije razmenjivača problem se svodi na rejting rešenje. Izlazne temperature radnih fluida se računaju preko jednačina (5) i (6). Iterativan proračun je neophodan, jer veličine stanja fluida treba odrediti za srednje temperature. Tek posle dovoljnog broja iteracija stvarne izlazne temperature (oznaka sa zvezdicom) potpuno zadovoljavaju i bilansne i jednačinu razmene toplote. Ovde treba napomenuti ako usvojeno kA odstupa od proračunskog zadata izlazna temperatura će takođe odstupati, odnosno zadati režim se neće moći u potpunosti ostvariti, odnosno odstupaće čak ni zadata izlazna temperatura. Ovo je redovan slučaj pri proračunu, ako se usvaja veća površina razmene od izračunate. Na slici 2 je data



PRINCIPIJELNA ŠEMA IZMENJIVAČKE PODSTANICE

Slika 2 Regulacija odziva razmenjivača toplote na strani sekundara

šema jedne izmenjivačke stanice sa regulacijom izlazne temperature na strani sekundara koja je neophodna ako je izabrana veća površina razmene od potrebne, pa bi nastupilo pregrevanje sekundarnog sistema. Regulacija odziva sistema je neophodna i iz drugih razloga: Promena toplotnog kapaciteta potrošača (sekundar), pad koeficijenta prolaza toplote usled zaprljanja, promena režima rada i sl.

I rejting i dizajn problem polaze od činjenice da je geometrija razmenjivača na raspolaganju. Rejting problem ima gotov razmenjivač toplote, a dizajn problem polazi od predpostavljenog baznog preseka i konfiguracije strujanja, na bazi koje se utvrđuje potrebna dužina (površina razmenjivača). Inženjerski pristup problemu dimenzionisanja ne svodi se na ekstenzivni pristup određivanja geometrije za svako izračunato kA , već definisanje široke serije geometrija razmenjivača od kojih treba optimizacijom ili uz pomoć dodatnih uslova i ograničenja doći do povoljnog rešenja.

Iz prethodnog stava mogu se postaviti dva pitanja kod dizajn problema:

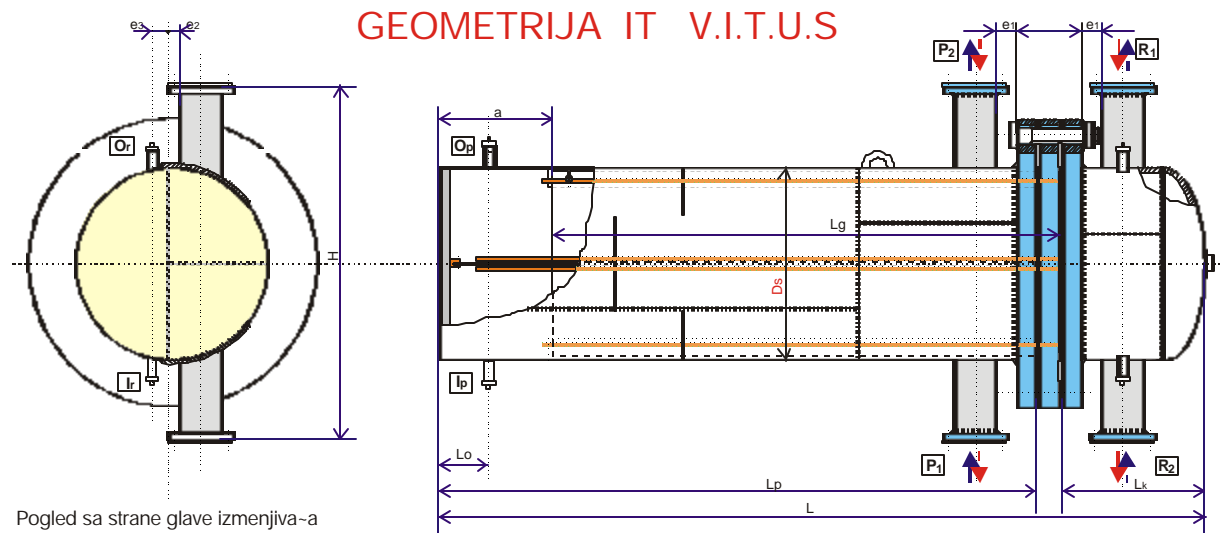
Prvo pitanje se odnosi na kriterijum izbora konfiguracije strujanja, a drugo pitanje se odnosi na to da li sve konfiguracije imaju realni odziv za postavljene uslove. Pitanje da li treba izabrati onu konfiguraciju koja daje najmanji proizvod kA ima odgovor u dodatnim uslovima i ograničenjima pri definisanju geometrije razmenjivača. Naime, da bi se ostvarili veći koeficijenti prolaza toplote potrebne su veće brzine strujanja u registru i omotaču razmenjivača, što dovodi do velikih dužina razmenjivača. Uvođenjem više prolaza dužine se mogu smanjiti, ali da bi se ostvarilo suprotnosmerno strujanje broj prolaza mora biti isti u registru i omotaču. Zavisno od zapreminskih protoka fluida mogu se dobiti značajne razlike u brzinama, što dovodi da broj prolaza u registru i omotaču postaje različit i dalje da konfiguracija ima kombinovano strujanje. Pored toga ima još razloga koje treba uzeti u obzir, kao npr. razmeštanje radnih fluida (fluid viših temperatura postaviti u registar, fluid

ve}e viskoznosti postaviti u omota- itd.). Dakle izbor konfiguracije strujanja treba izvr{iti u interakciji sa geometrijom razmenjiva-a, tehnologijom izrade, radnim fluidima itd.

Odgovor na drugo pitanje se je u analizi funkcije $NTU=f(a,R,P)$. Po{to funkcija toplotne efikasnosti nije predmet ovog rada navodimo samo rezultate ove analize. Postoje uslovi koji se moraju ispuniti da bi bilo mogu}e ostvariti razmenu toplote odre |ene konfiguracije:

za istosmerno strujanje	$P < 1 / (1+R)$
za suprotnosmerno strujanje	nema ograni-enja
za unakrsno strujanje	$P < 1 / (1+R/2)$
za kombinovano strujanje tipa 2n1	$P < 2 / (1+R+(1+R^2)^{0.5})$
za kombinovano strujanje tipa a(2n1)	$P_a < 2 / (1+R+(1+R^2)^{0.5})$

Pri dimenzionisanju razmenjiva-a mo`e se desiti da nije ispunjen neki od gornjih uslova, {to je pokazatelj da se tom konfiguracijom ne mo`e ostvariti zadata izlazna temperatura jednog od radnih fluida. Me|utim re{enje uvek postoji, jer za suprotnosmerno strujanje nema ograni-enja. Ukoliko se izabere konstrukcija razmenjiva-a koja ne zadovoljava uslove ne zna-i da isti ne}e imati odziv, odziv uvek postoji, ve} se dizajn problem prevodi u rejting problem, odnosno obe izlazne temperature }e biti odre |ene prora-unom, tj. nije mogu}e odr`ati zadatom ni jednu izlaznu temperaturu.



KORISNA INFORMACIJA

PROTEUS LOZNICA

Tel. 015 882-242, 875-372, fax 882-242, E-mail: proteus@ptt.yu

SVE O RAZMENJIVA^IMA TOPLOTE

GEOMETRIJA, PRORA^UNI, SOFTVER, PROIZVODNJA

VITUS RAZMENJIVA^I TOPLOTE, verzija v3