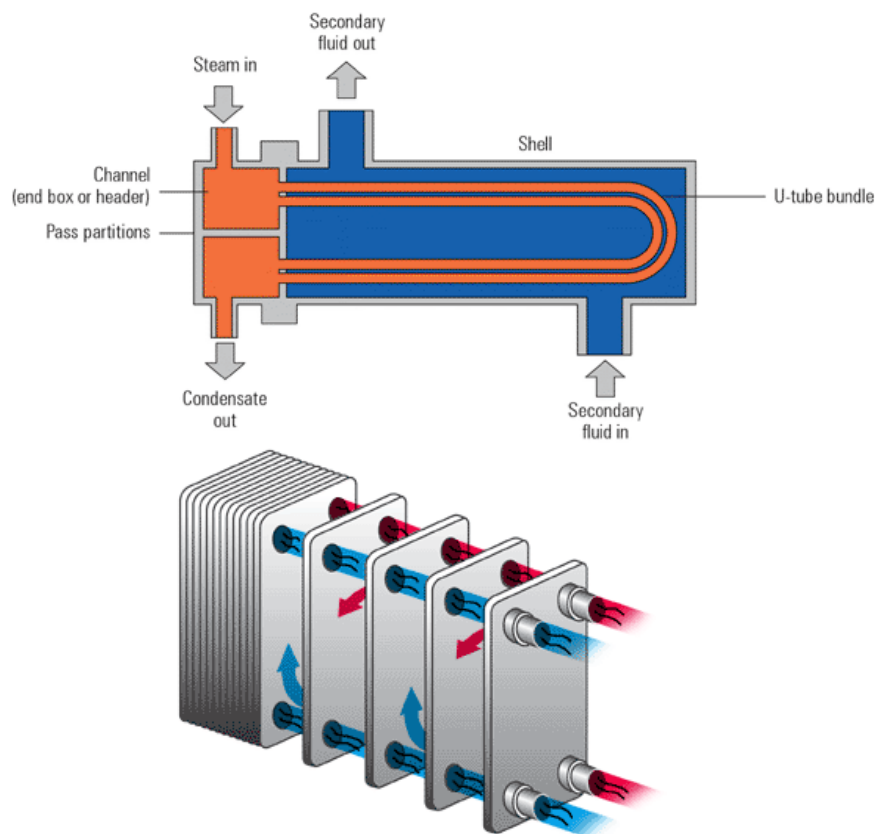
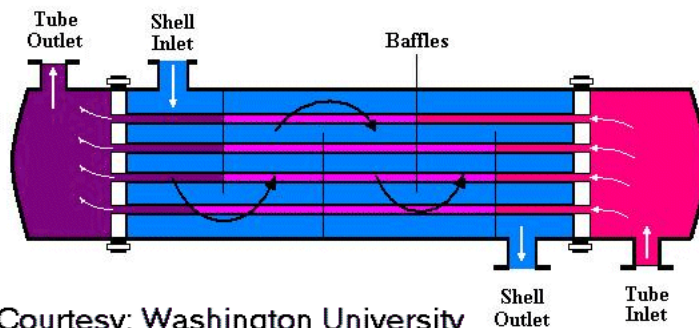


4. PREDAJNICI (RAZMENJIVAČI) TOPLOTE

4.1. UVOD

Predajnici (razmenjivači) toplote su uređaji čija je osnovna namena da obezbede proces predaje količine toplote sa jednog na drugi fluid, odnosno proces predaje toplote između više fluidnih tokova. U industrijskoj praksi se u većini predajnika (razmenjivača) toplote, postoje samo dva fluida.

Svaki od ovih fluidnih tokova može biti čist fluid ili rastvor fluida.



Kada je osnovna namena predajnika (razmenjivača) toplote grejanje fluida, tada se topliji fluid (fluid više temperature) nazivaja grejni fluid, a hladniji fluid (fluid niže temperature) grejani fluid.

Kada je osnovna namena predajnika (razmenjivača) toplote hlađenje fluida, topliji fluid

se nazivaju hlađeni fluid, dok se hladniji fluid naziva rashladni.

Predajnici (razmenjivači) toplote imaju široku primenu u velikom broju industrijskih postrojenja. Koriste se u procesnoj i prerađivačkim industrijama, proizvodnji električne energije (uključujući i nuklearne elektrane), klimatizaciji, rashladnim postrojenjima, rekuperaciji toplote (korišćenju otpadne toplote), itd.

4.2. KLASIFIKACIJA PREDAJNIKA (RAZMENJIVAČA) TOPLOTE

Predajnici (razmenjivači) toplote se mogu klasifikovati na više načina .

Moguće ih je razvrstati prema načinu:

- predaje toplote i
- proticanja fluida kroz uređaj.

4.2.1. Klasifikacija predajnika (razmenjivača) toplote prema načinu predaje toplote

Predajnici (razmenjivači) toplote se prema načinu predaje toplote mogu podeliti na:

- razmenjivače toplote sa mešanjem fluida - direktnim (neposrednim) kontaktom fluida i
- razmenjivače toplote sa bez mešanja fluida - indirektnim (posrednim) kontaktom fluida.

4.2.2. Predajnici (razmenjivači) toplote sa mešanjem fluida

Kod ovog tipa uređaja, toplota se predaje mešanjem toplijeg i hladnijeg fluida, koji se nakon predaje toplote mogu relativno lako razdvojiti. U praksi se najčešće ovim načinom obavlja predaja toplote između gasa i tečnosti. Razmenjivači toplote sa direktnim kontaktom su našli široku primenu pri hlađenju povratne rashladne (tople) vode hladnim vazduhom u parnim termoelektranama.

4.2.3. Predajnici (razmenjivači) toplote bez mešanja fluida

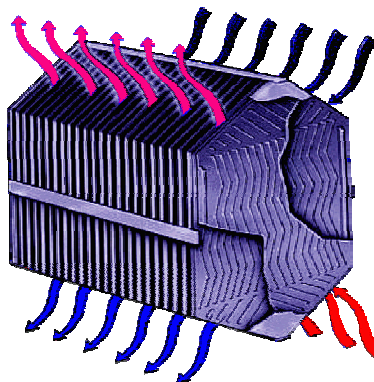
U predajnicima (razmenjivačima) toplote sa indirektnim kontaktom, toplotna energija najpre prelazi sa toplijeg fluida na (nepropustljive) površine za toplotnu razmenu, a zatim sa površine sa toplotnu razmenu na hladniji fluida. Ovu grupu uređaja čine:

- rekuperatori,
- regeneratori i
- predajnici (razmenjivači) toplote sa fluidizovanim slojem.

Rekuperatori. U industriji se od svih predajnika (razmenjivača) toplote najviše koriste rekuperatori . U ovim uređajima ustaljeno struje dva fluidna toka međusobno razdvojena tankim zidom (najčešće metalan zid cevi ili metalna ploča). Predaja toplote između toplijeg i hladnijeg fluida ostvaruje se prolaženjem toplote, koje uključuje:

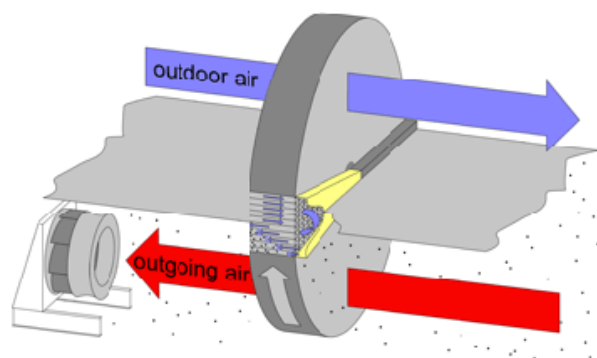
- prelaženje toplote sa toplijeg fluida na zid (površinu za toplotnu razmenu),
- provodjenje toplote kroz zid i
- prelaženje toplote sa zida na hladniji fluid.

U rekuperatorima nema pokretnih delova, niti dolazi do direktnog mešanja toplijeg i hladnijeg fluida. Po svojoj konstrukciji rekuperatori mogu biti cevni (od kojih su najvažniji uređaji sa cevnim snopom i omotačem), pločasti i sa istaknutim (orebrenim) površinama.



Regeneratori. Kod regeneratora se dva fluida, koji između kojih se obavlja proces predaje toplote, kreću naizmenično kroz isti prostor, oplakujući pri tom strujanju neku strukturu koja ima funkciju primo-predaju, toplotne energije. Pri strujanju toplijeg fluida, toplotna energija se najpre prenese primo-predajnu strukturu (obično rešetkastog oblika) i tu sačuva. Kada se nakon toga, hladniji fluid propusti preko zagrejane primo-predajne strukture, dolazi do prelaženja toplote na hladan fluid i njegovog zagrevanja.

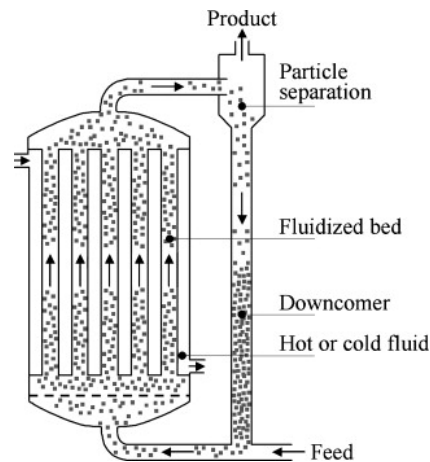
Po svojoj konstrukciji regeneratori mogu biti rotacioni (npr. rotacioni regenerator gasne turbine) i nepokretni (npr. vazdušni predgrejač za visoke peći ili peći za topljenje stakla).



Predajnici (razmenjivači) toplote sa fluidizovanim slojem. Kod ovih uređaja, u prostoru kroz koji se kreće jedan od fluida nalazi se gust sloj fino sprasanih čestica čvrste materije (npr. čestice uglja ili sloj peska). Tako, na primer, topliji fluid (gas) može strujati na više, kroz prostor oko snopa vertikalnih cevi, ispunjen slojem čestica čvrste materije. Hladniji fluid tada struji kroz cevi. Pri niskim brzinama gasa sloj čvrstog materijala miruje, odnosno gas strujao kroz međuprostore između čestica u sloju. Tada su gravitacione sile koje deluju na čestice veće od sila odnošenja čestica (sa strujom gasa). Pri određenoj brzini gasa, kada se sile odnošenja čestica na više veće od gravitacionih sila, doći će do formiranja sloja "lebdećih" čestica, koji se ponaša kao tečnost. Ovakav sloj čestica i gasa naziva se fluidizovani sloj. Usled intenzivnog mešanja čestica temperatura u fluidizovanom sloju je konstantna. Pri tome se čestice čvrstog materijala ponašaju kao da

im je koeficijent toplotne provodljivosti beskonačno veliki. Korišćenjem fluidizovanog sloja mogu se postići veoma visoki toplotni protoci (odnosno, relativno velike vrednosti koeficijenta prelaženja toplote). Pri određenim brzinama gasa, kada su sile odnošenja veće od gravitacionih, dolazi do odnošenja čestica strujom fluida, o čemu se mora voditi računa.

Predajnici (razmenjivači) toplote sa fluidizovanim slojem koriste se u procesima mešanja, sušenja, sagorevanja, itd.



4.2.4. Klasifikacija predajnika (razmenjivača) toplote prema načinu proticanja fluida kroz predajnik

Sa stanovišta projektovanja i rada predajnika (razmenjivača) toplote od velikog je značaja način strujanja dva fluida kroz uređaj.

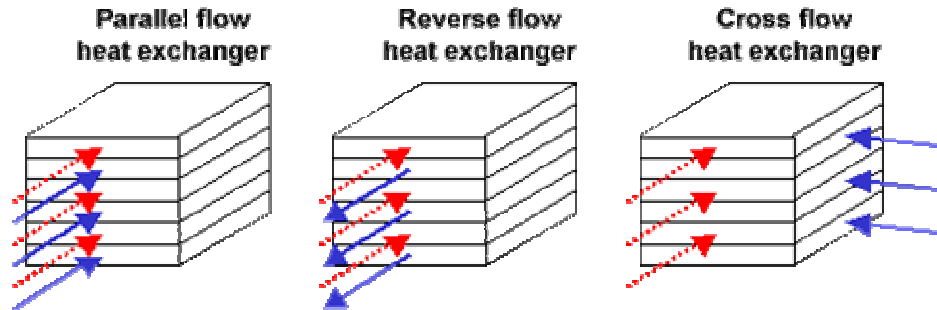
Fluidi predajnici toplote mogu protiču:

- u jednom prolazom
- sa više prolaza.

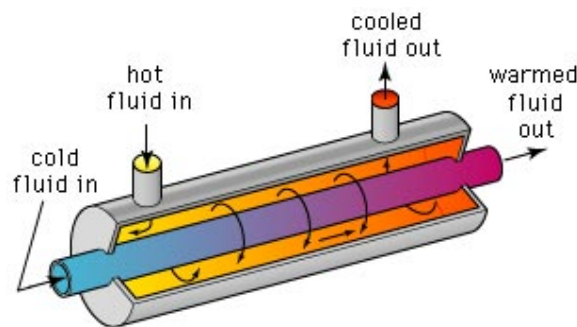
Razmenjivač toplote sa jednim prolazom fluida

Kod ovih predajnika (razmenjivača) toplote svaki fluid protiče kroz uređaj samo u jednom prolazu. Pri tome su mogući sledeći tokovi fluida:

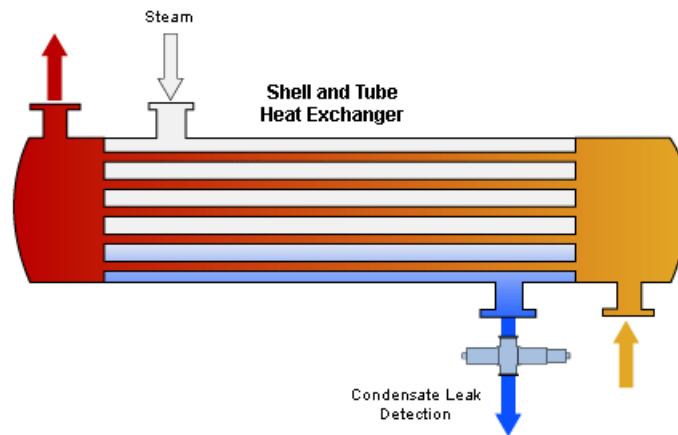
- istosmerni (istostrujni) tok,
- suprotnosmerni (istostrujni) tok i
- unakrsan tok.



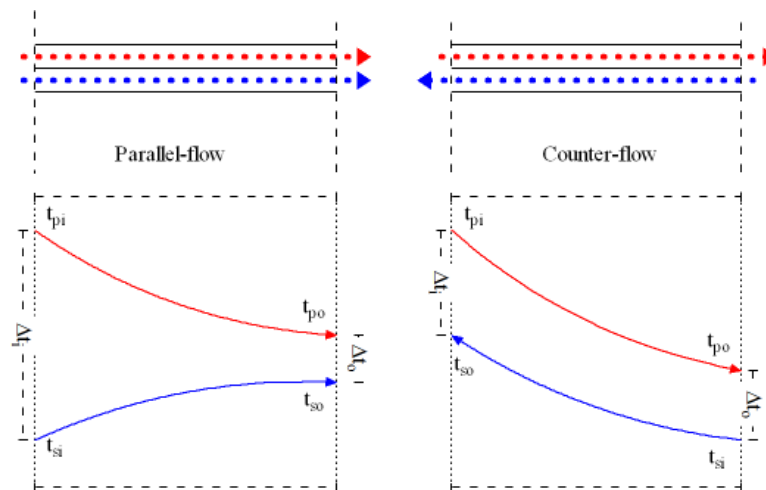
Suprotnosmerni tok. U predajnicima toplote fluidni tokovi su međusobno suprotno usmereni. Jedan fluid protiče kroz unutrašnju cev, a drugi kroz anuanularni prostor (međuprostor između cevi manjeg i većeg prečnika). U praksi se i veći broj cevi smešta u jednu cev znatno većeg prečnika; tada se radi o predajnici (razmenjivačima) toplote sa jednim prolazom kroz cevni snop i jednim prolazom kroz omotač



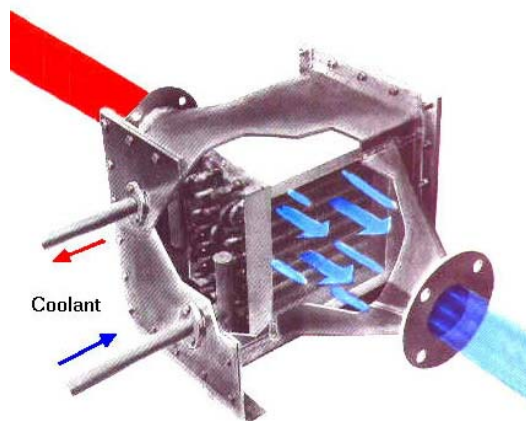
© 2006 Encyclopædia Britannica, Inc.



Istosmerni tok. Kod predajnika toplote sa istosmernim tokom struje fluida su paralelne i istog su smera.



Unakrsni tok. U ovom slučaju su dve struje fluida pod pravim uglom (jedna u odnosu na drugu).



4.3. BILANS ENERGIJE (PRVI PRINCIP TERMODINAMIKE) I FORMALAN BILANS ENTROPIJE (DRUGI PRINCIP TERMODINAMIKE) REKUPERATIVNIH PREDAJNIKA TOPLOTE

ENERGETSKI BILANS:

- ustaljeni uslovi
- dva fluida
- predaja toplote okolini se smatra “gubitkom” toplote

$$q_{m,I}h_{ul,I} + q_{m,II}h_{ul,II} = q_{m,I}h_{izl,I} + q_{m,II}h_{izl,II} + \Phi_{gub}$$

Za idelane gasove i tečnosti:

$$q_{m,I}\bar{c}_I T_{ul,I} + q_{m,II}\bar{c}_{II} T_{ul,II} = q_{m,I}\bar{c}_I T_{izl,I} + q_{m,II}\bar{c}_{II} T_{izl,II} + \Phi_{gub}$$

FORMALNI BILANS ENTROPIJE:

- ustaljeni uslovi
- dva fluida
- postoji predaja toplote okolini

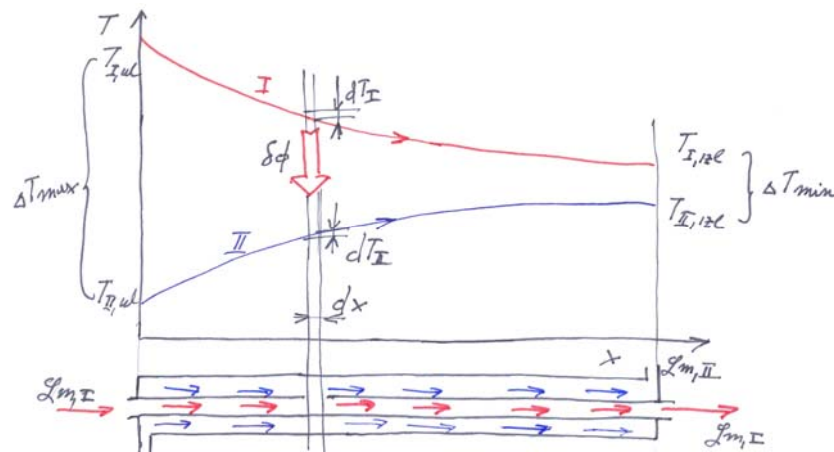
$$\dot{S}_{gen} + \int_{cs} \frac{\varphi dA}{T_{cs}} + q_{m,I} s_{ul,I} + q_{m,II} s_{ul,II} = q_{m,I} s_{izl,I} + q_{m,II} s_{izl,II}$$

- u slučaju toplotno izolovanog predajnika (nema “gubitaka” toplote)

$$\dot{S}_{gen} + q_{m,I} s_{ul,I} + q_{m,II} s_{ul,II} = q_{m,I} s_{izl,I} + q_{m,II} s_{izl,II}$$

4.4. SREDNJA LOGARITAMSKA RAZLIKA TEMPERATURA

$$\Delta T_{\ln} = \frac{\Delta T_{\max} - \Delta T_{\min}}{\ln \frac{\Delta T_{\max}}{\Delta T_{\min}}}$$



Ukupni toplotni protok

I fluida

$$\Phi = \dot{m}_I \cdot \bar{c}_I \cdot (T_{I,ul} - T_{I,izl}) \quad (1)$$

II fluida

$$\Phi = \dot{m}_{II} \cdot \bar{c}_{II} \cdot (T_{II,izl} - T_{II,ul}) \quad (2)$$

Elementarni toplotni protok:

$$\delta \Phi = k_f \cdot (T_I - T_{II}) dx$$

U skladu sa izrazima (1) i (2)

$$\delta \Phi = \delta \Phi_{II} = \dot{m}_{II} \cdot \bar{c}_{II} \cdot dT_{II} \Rightarrow dT_{II} = \frac{\delta \Phi}{\dot{m}_{II} \cdot \bar{c}_{II}} \quad (3)$$

$$\delta \Phi = -\delta \Phi_I = -\dot{m}_I \cdot \bar{c}_I \cdot dT_I \Rightarrow dT_I = -\frac{\delta \Phi}{\dot{m}_I \cdot \bar{c}_I} \quad (4)$$

Razlika diferencijalnih promena temperature fluida I i fluida 2 – izraz (3) i (4)

$$dT_I - dT_{II} = -\delta \Phi \cdot \left(\frac{1}{\dot{m}_I \cdot \bar{c}_I} + \frac{1}{\dot{m}_{II} \cdot \bar{c}_{II}} \right)$$

Povezujući sa izrazom (1)

$$dT_I - dT_{II} = -k_l \cdot (T_I - T_{II}) \cdot \left(\frac{1}{q_{m,I} \cdot \bar{c}_I} + \frac{1}{q_{m,II} \cdot \bar{c}_{II}} \right) dx$$

Elementarnom matematičkom transformacijom i integracijom po dužini predajnika

$$\int_{T_{ul}}^{T_{izl}} \frac{dT_I - dT_{II}}{(T_I - T_{II})} = - \int_0^l k_l \cdot \left(\frac{1}{q_{m,I} \cdot \bar{c}_I} + \frac{1}{q_{m,II} \cdot \bar{c}_{II}} \right) dx$$

$$\ln \frac{T_{I,izl} - T_{II,izl}}{T_{I,ul} - T_{II,ul}} = -k_l \cdot \left(\frac{1}{q_{m,I} \cdot \bar{c}_I} + \frac{1}{q_{m,II} \cdot \bar{c}_{II}} \right) l = -k_l \cdot \left(\frac{T_{I,ul} - T_{I,izl}}{\Phi} + \frac{T_{II,ul} - T_{II,izl}}{\Phi} \right)$$

Toplotni protok sa toplijeg na hladniji fluid izražen preko srednje logaritamske razlike temperatura fluida ΔT_{ln} i koeficijenta prolaženja toplote kroz cilindričan zid k_l :

$$\Phi = k_l \cdot l \cdot \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\ln \frac{\Delta T_{max}}{\Delta T_{min}}} = k_l \cdot l \cdot \Delta T_{ln}$$