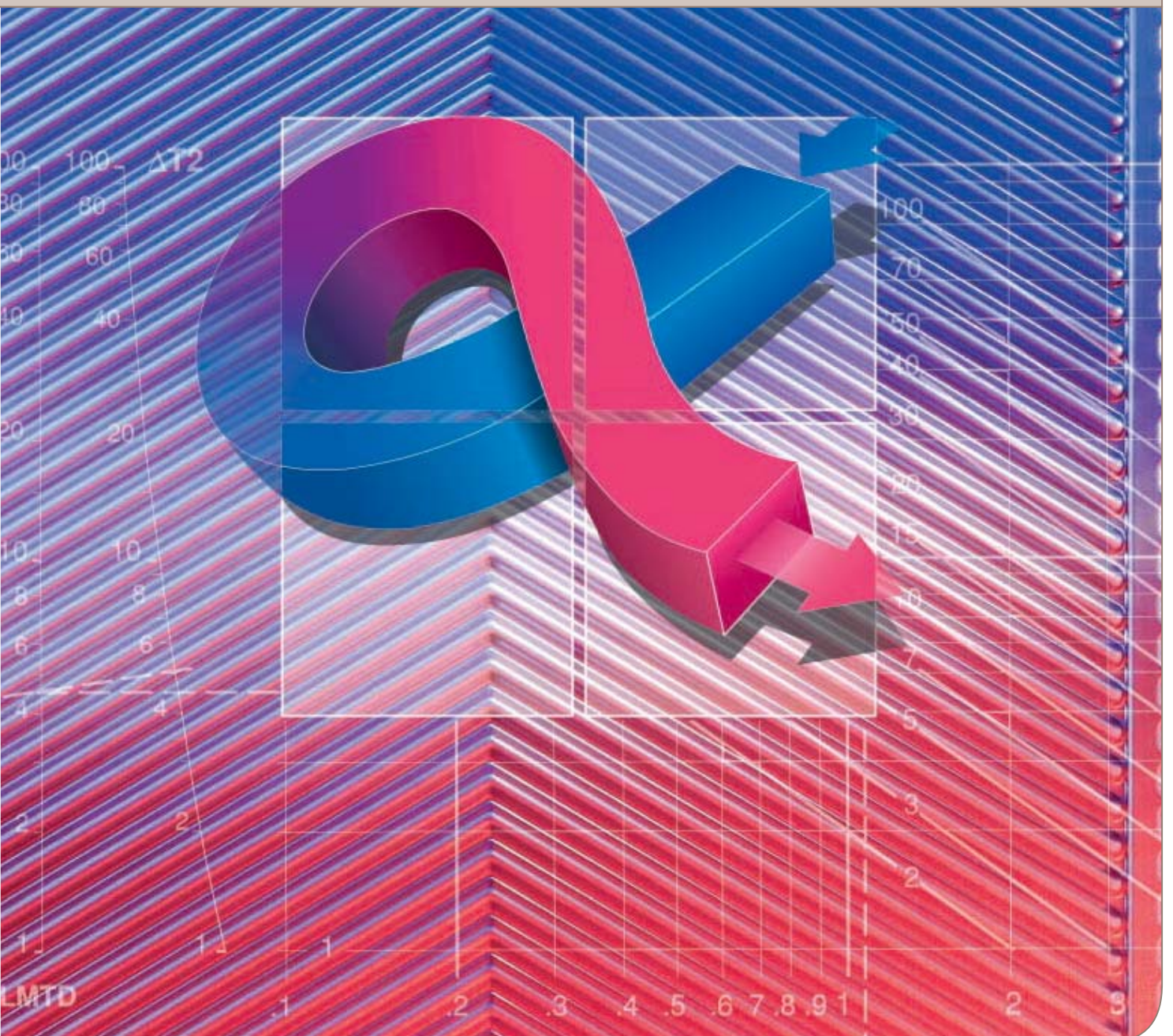


Teorie přenosu tepla

Deskové výměníky tepla



Teorie přenosu tepla

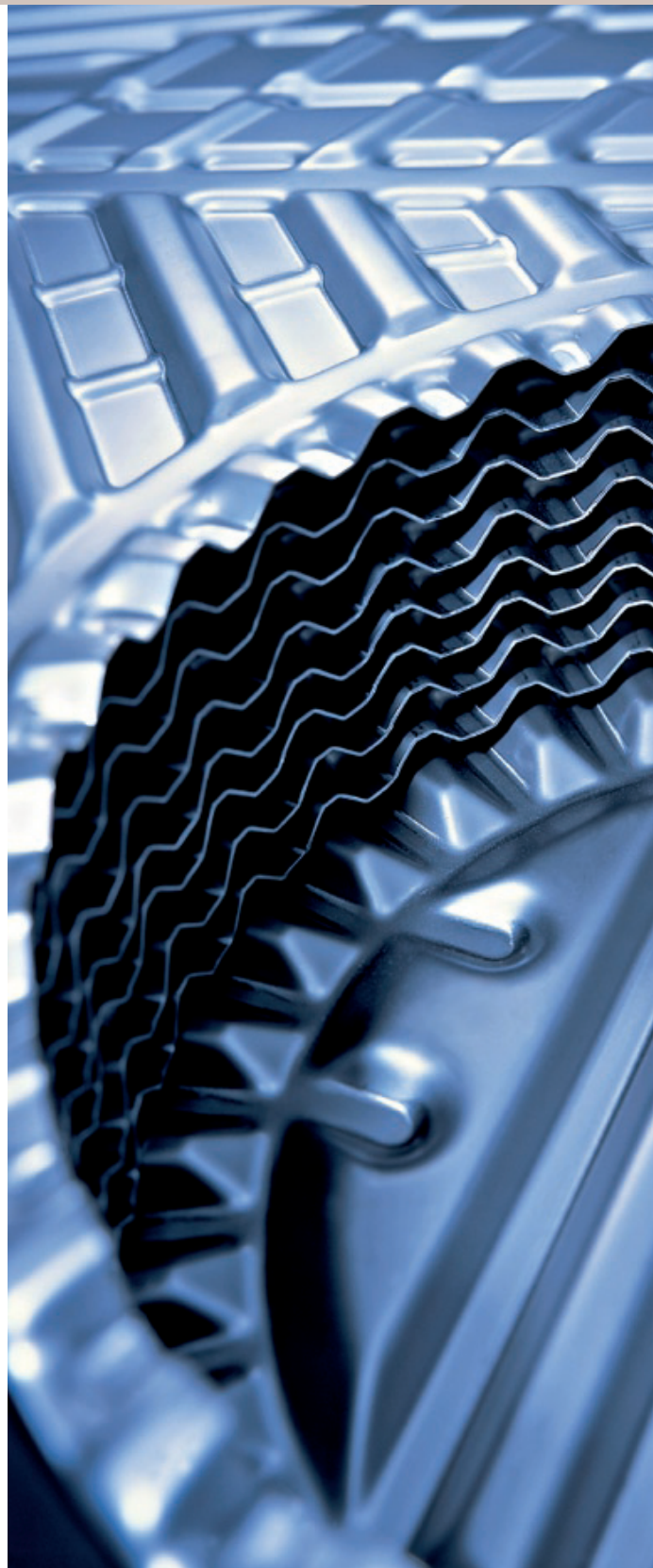
Následující stránky vám pomohou lépe porozumět tomu, jak fungují výměníky tepla.

Jasně a jednoduše popíšeme základní principy přenosu tepla.

Přirozené zákony fyziky vždy umožňují hybné energii proudit v rámci systému do té doby, pokud není dosaženo rovnovážného stavu. Tepla opouští tělesa s vyšší teplotou nebo kapalinu s nejvyšší teplotou, za předpokladu existence teplotního rozdílu, a je přenášeno na chladnější médium.

Výměník tepla pracuje na výše uvedeném principu vyrovnávání teplot. U deskového výměníku tepla velmi lehce proniká skrze tenkou stěnu, která odděluje teplé médium od chladného. Proto je možno ohřívat či ochlazovat kapaliny a plyny, u kterých dochází k velkému přiblížení teplot.

Právě rozdíly teplot jsou hybnou energií výměníků tepla.



Teorie přenosu tepla

Teorie přenosu tepla z jednoho média na jiné, případně z jedné kapaliny na druhou je dána několika základními pravidly.

- Tepla je vždy přenášeno z teplejšího média na chladnější.
- Mezi médii musí existovat teplotní rozdíl.
- Ztráta tepla u teplejšího média se rovná množství tepla přijatého chladnějším médiem, pokud zanedbáme ztráty tepla do okolí.

Výměníky tepla

Výměník tepla je zařízení, ve kterém průběžně dochází k přenosu tepla z jednoho druhu média na druhý.

Existují dva hlavní typy výměníků tepla.

- **Přímý výměník tepla**, ve kterém jsou obě média v přímém kontaktu. Předpokládá se, že se obě média navzájem nepromíchají.

Příkladem tohoto typu výměníku tepla je chladicí věž, ve které je voda ochlazována přímým kontaktem se vzduchem.

- **Nepřímý výměník tepla**, u kterého jsou obě média vzájemně oddělena přepážkou, přes kterou teplo prochází.

Teorie přenosu tepla

Teplo může být přenášeno třemi způsoby.

- **Sáláním** - energie je přenášena prostřednictvím elektromagnetického vlnění. Příkladem je zahřívání Země slunečními paprsky.
- **Vedením** - energie je přenášena mezi pevnými látkami nebo statickými kapalinami na principu pohybu atomů a molekul.
- **Prouděním** - energie je přenášena na principu promíchání částí média s částí jiného média.

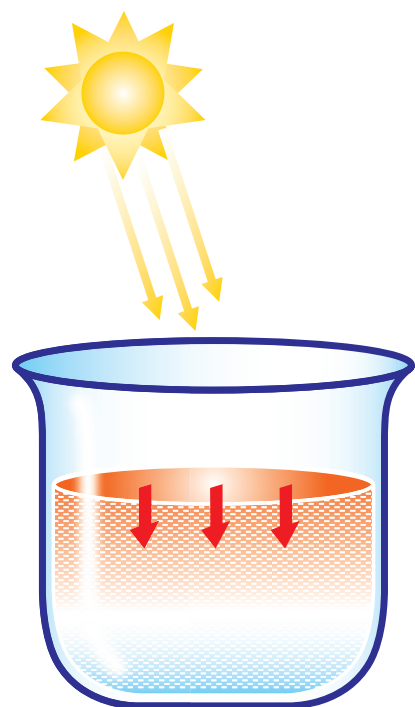
a) **Přirozené proudění** - pohyb média závisí zcela na rozdílu hustoty a teplotní rozdíly jsou vyrovnány.

b) **Nucené proudění** - pohyb média závisí zcela nebo částečně na působení vnějších vlivů. Příkladem je čerpadlo, které pohybuje kapalinou.

Typy výměníků tepla

V této brožuře se zabýváme pouze nepřímými výměníky, tj. takovými, ve kterých nedochází k promíchání médií, kdy teplo prochází přes teplosměrné plochy.

Tepelné ztráty způsobené vyzařováním mohou být při použití výměníků tepla z této brožury zanedbány. Existuje několik hlavních typů nepřímých výměníků tepla - deskový - trubkový - spirálový, atd. Ve většině případů má nejvyšší účinnost deskový výměník tepla. Obecně nabízí nejlepší řešení, co se týče řešení tepelných problémů,



Sálání

neboť poskytuje nejširší rozmezí tlakových a teplotních limitů v rámci současného vybavení.

Nejvýznamnějšími výhodami deskového výměníku tepla jsou:

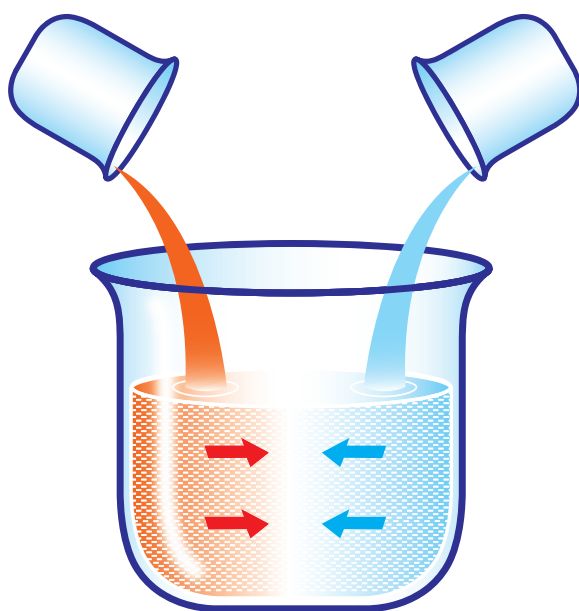
- Ve srovnání s trubkovými výměníky tepla mají výrazně menší rozměry.
- Tenký materiál, tvořící teplosměrnou plochu, umožňuje optimální přenos tepla, neboť teplo prochází pouze tenkou stěnou desky.
- Vysoké turbulentní proudění v médiu zvyšuje prostup tepla, což vede k účinnému přenosu tepla mezi médii. S vyšším součinitelem prostupu tepla na jednotku plochy souvisí nejen menší prostorové nároky, ale také účinnost zařízení.

Vysoké turbulentní proudění také umožňuje samočištění. Proto je ve srovnání s tradičním trubkovým výměníkem zanášení deskového výměníku tepla podstatně redukováno. To znamená, že intervaly mezi čištěním deskového výměníku tepla jsou podstatně delší.

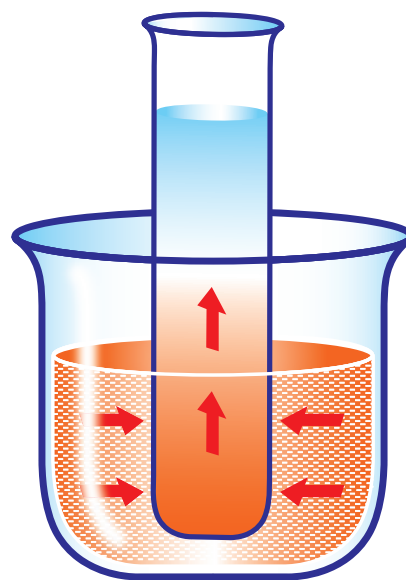
- Pružnost - deskový výměník tepla je tvořen konstrukcí, obsahující několik teplosměrných desek. Může být snadno rozšířen pro zvýšení kapacity, nebo otevřen za účelem čištění. (Tento bod se týká pouze rozebíratelných výměníků tepla, nikoli pájených nebo celonerezových jednotek.)
- Proměnlivá termická délka – většina deskových výměníků tepla vyráběných firmou Alfa Laval je k dispozici se dvěma různými typy kanálů. U kanálů typu H je tlaková ztráta vyšší a výměník má vyšší účinnost.

U kanálů typu L je tlaková ztráta nižší a součinitel prostupu tepla je o něco menší.

Pokud jsou vedle sebe umístěny dvě desky s různými typy kanálů (H, L), vznikne kompromis mezi velikostí tlakových ztrát a účinností (kanály M).



Vedení



Proudění

Metoda výpočtu



Pro vyřešení teplotního problému je nezbytné znát několik parametrů. Na jejich základě mohou být určeny další údaje. Zde je uvedeno šest nejdůležitějších parametrů:

- Množství přenášeného tepla (tepelný výkon).
- Vstupní a výstupní teploty na primární a sekundární straně výměníku.
- Maximální tlakové ztráty na primární a sekundární straně výměníku.
- Maximální provozní teplota.
- Maximální provozní tlak.
- Průtok na primární a sekundární straně.

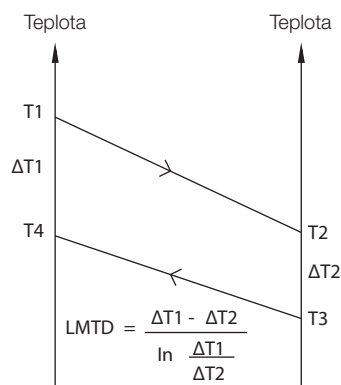
Pokud je znám průtok, měrné teplo a teplotní rozdíl na jedné straně, je možno vypočítat tepelný výkon. Viz dále.

Teplovní program

Týká se vstupních a výstupních teplot obou médií ve výměníku tepla.

- T1 = vstupní teplota - teplá strana
- T2 = výstupní teplota - teplá strana
- T3 = vstupní teplota - chladná strana
- T4 = výstupní teplota - chladná strana

Teplovní program je zobrazen v níže uvedeném grafu.



Tepelný výkon

Bez ohledu na tepelné ztráty v atmosféře, které jsou zanedbatelné se tepelné ztráty (tepelný výkon) na jedné straně výměníku tepla rovnají tepelnému zisku na straně druhé. Tepelný výkon (P) se uvádí v kW, nebo kcal/h.

Střední logaritmická teplotní diference

Střední logaritmická teplotní diference (LMTD) je účinná hybná síla ve výměníku tepla. Viz schéma vlevo.

Termická délka

Termická délka (Θ) je vztah mezi teplotní diferencí (Δt) na jedné straně a LMTD.

$$\Theta = \frac{\Delta t}{LMTD}$$

Termická délka popisuje jak náročný je provoz z hlediska přestupu tepla.

Hustota

Hustota (ρ) vyjadřuje hmotnost na jednotku objemu a je udávána v kg/m^3 , nebo kg/dm^3 .

$$P = m \times c_p \times \Delta t$$

Kde:

P = tepelný výkon (kW)

m = hmotnostní tok (kg/s)

c_p = měrné teplo (KJ/kg °C)

Δt = rozdíl vstupní a výstupní teploty na jedné straně (°C)

Chlazení

U aplikací chlazení se můžeme setkat s provozem, kdy dochází k velkému přiblížení mezi vstupními a výstupními teplotami na primární a sekundární straně. To jsou případy, kdy mluvíme o provozem s vysokou θ a její velikosti je třeba přizpůsobit typ jednotky. Provozy s vysokou θ jsou takové provoz, kde $\theta > 1$ a jednotky užití pro tyto případy jsou charakterizovány:

- Použitím dlouhých desek s delším časem pro vychlazení média
- Desky mají nízkou hloubku lisování, díky čemuž je na desce méně ochlazovaného média.

θ vychází u deskových výměníků ve srovnání s trubkovými výměníky podstatně lépe. U trubkových výměníků tepla může jít θ do maximální hodnoty ~1, zatímco deskové výměníky mohou dosahovat hodnot až 10 a více. Trubkové výměníky jsou schopné překročit $\theta > 1$ pouze při použití několika jednotek v sérii.

Průtok

Průtok může být vyjádřen dvěma různými jednotkami - hmotností, nebo objemem. Při použití hmotnosti se průtok udává v kg/s, nebo kg/h, při použití objemu se průtok udává v m³/h, nebo l/min. Při převodu jednotek objemu na jednotky hmotnosti je nutno vynásobit objemový průtok hodnotou hustoty.

Hodnota maximálního průtoku obvykle určuje, který typ výměníku je nejvhodnější pro dané použití. Deskové výměníky tepla Alfa Laval mohou být používány pro průtok od 0,05 kg/s do 1 400 kg/s. V jednotkách objemu se jedná o rozmezí od 0,18 m³/h do 5 000 m³/h při použití vody. V případě, že požadovaná hodnota průtoku je vyšší, konzultujte případ se zástupcem Alfa Laval.

Tlaková ztráta

Tlaková ztráta (Δp) přímo závisí na velikosti výměníku tepla. Pokud je možno zvýšit povolenou tlakovou ztrátu a zvýšit náklady na čerpání, výměník bude menší a levnější. Jako příklad je možné uvést tlakové

ztráty mezi 20 a 100 kPa, které jsou akceptovány jako normální pro výměníky voda/voda.

Měrné teplo

Měrné teplo (měrná tepelná kapacita) (c_p) je množství energie potřebné ke zvýšení teploty hmoty o hmotnosti 1 kg o 1 °C. Měrná tepelná kapacita vody o teplotě 20 °C činí 4,182 kJ/kg °C či 1,0 kcal/kg °C.

Viskozita

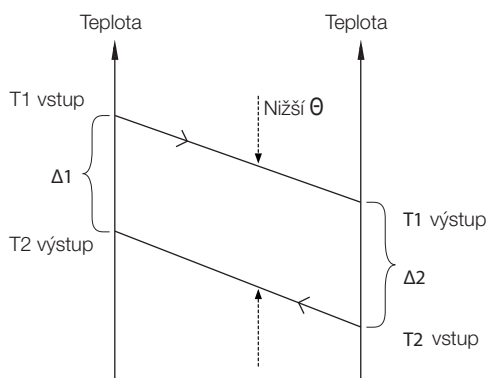
Viskozita určuje snadnost proudění kapaliny. Čím je viskozita nižší, tím snadněji kapalina proudí.

Viskozita se udává v jednotkách centipoise (cP), nebo centistoke (cSt).

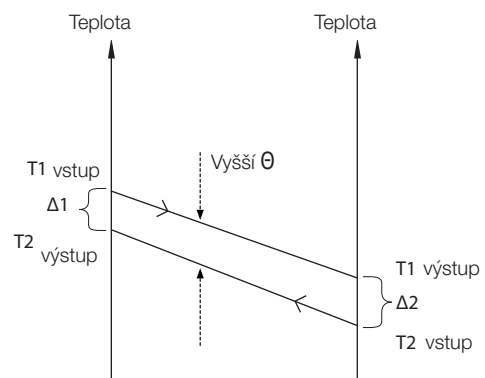
Součinitel prostupu tepla

Součinitel prostupu tepla (k) vyjadřuje odpor vůči prostupu tepla, který je dán odporem materiálu desky, případným zanesením desek, povahou kapalin a turbulencí proudění.

Součinitel prostupu tepla je vyjádřen: W/m² °C nebo kcal/h, m² °C.



Na grafu je možné vidět že velký rozdíl teplot vede k nízké θ .



Na grafu je možné vidět že malý rozdíl teplot vede k vysoké θ .

Metoda výpočtu

Tepelný výkon výměníku tepla je možno odvodit z následujících dvou vzorců:

1. Výpočet tepelného výkonu, termické délky a LMTD

$$P = m \cdot c_p \cdot \Delta t \quad (m = \frac{P}{c_p \cdot \Delta t}; \Delta t = \frac{P}{m \cdot c_p})$$

$$P = k \cdot A \cdot \text{LMTD}$$

Kde:

- P = tepelný výkon (kW)
- m = hmotnostní tok (kg/s)
- c_p = měrné teplo (kJ/kg °C)
- Δt = teplotní rozdíl mezi vstupem a výstupem na jedné straně (°C)
- k = součinitel prostupu tepla (W/m² °C)
- A = teplosměnná plocha (m²)
- LMTD = střední logar. teplotní rozdíl

$$\Theta = \text{hodnota Theta} = \frac{\Delta t}{\text{LMTD}} = \frac{k \cdot A}{m \cdot c_p}$$

- T1 = teplota na vstupu - teplá strana
- T2 = teplota na výstupu - teplá strana
- T3 = teplota na vstupu - chladná strana
- T4 = teplota na výstupu - chladná strana

Hodnota LMTD může být vypočítána pomocí následujícího vzorce, kde $\Delta T1 = T1 - T4$ a $\Delta T2 = T2 - T3$

$$\text{LMTD} = \frac{\Delta T1 - \Delta T2}{\ln \frac{\Delta T1}{\Delta T2}}$$

2. Součinitel prostupu tepla a návrhová rezerva

Součinitel prostupu tepla je definován jako:

$$\text{Kde: } \frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta}{\lambda} + R_f \quad R_f = \frac{1}{k_c} + R_f$$

$$M = \frac{k_c - k}{k}$$

- α_1 koeficient přenosu tepla mezi teplým médiem a plochou přenosu tepla (W/m² °C)
- α_2 koeficient přenosu tepla mezi plochou přenosu tepla a chladným médiem (W/m² °C)
- δ tloušťka stěny (m)
- R_f faktor zanášení (m² °C/W)
- λ tepelná vodivost materiálu oddělujícího média (W/m °C)
- k_c Součinitel prostupu tepla bez uvažovaného zanesení ($R_f = 0$) (W/m² °C)
- k Výpočtový součinitel prostupu tepla (W/m² °C)
- M Návrhová rezerva (%)

Kombinací těchto dvou vzorců dostáváme vztah: $M = k_c \cdot R_f$

tzn. vyšší součinitel prostupu tepla k_c , nižší součinitel zanesení R_f povedou k dosažení stejné návrhové rezervy.

$$\text{LMTD} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta}{\lambda} + R_f = \frac{1}{k_c} + R_f$$

Všechny parametry v rovnici mohou ovlivnit volbu výměníku tepla. Výběr materiálů obvykle nemá vliv na účinnost výměníku, ovlivňuje pouze pevnost jednotky a její odolnost vůči korozi.

U deskového výměníku je výhoda malých teplotních rozdílů a tloušťky desky mezi 0,25 a 0,8 mm. Hodnoty α jsou závislé na turbulenci proudění a faktory zanášení jsou obvykle velmi nízké. To dává součinitel prostupu tepla k , který se může za příznivých okolností pohybovat řádově okolo 8 000 W/m² °C. U tradičních trubkových výměníků se tato hodnota pohybuje pod 2 500 W/m² °C.

Důležité parametry, které může ovlivnit velikost a tím i cenu výměníku:

1. Tlaková ztráta

Vyšší tlaková ztráta obvykle umožňuje zmenšení výměníku.

2. LMTD

Vyšší hodnota středního logaritmického rozdílu teplot rovněž umožňuje zmenšení výměníku.

Konstrukční materiály

Pro styk s čistou vodou je většina výměníků tepla Alfa Laval vybavena deskami z nerezové oceli AISI 316 (1.4401). Pokud obsah chloridů nevyžaduje použití oceli AISI 316, může být v některých případech použit levnější konstrukční materiál AISI 304 (1.4301). Pro různé další podmínky jsou používány také další materiály. U pájených a celonerezových deskových výměníků tepla Alfa Laval je ocel AISI 316 používána ve všech případech. U slané a brakické vody musí být použita pouze slitina titanu.

Maximální konstrukční teplota a tlak

Hodnoty maximální konstrukční teploty a tlaku ovlivňují cenu výměníku tepla. Jako obecné pravidlo platí, že čím jsou tyto hodnoty nižší, tím nižší je i cena výměníku.

Zanášení a faktory zanášení

Povolená úroveň zanášení (R_f) může být vyjádřena jako dodatečná procentuální hodnota plochy přenosu tepla, nebo jako faktor zanášení vyjádřený v jednotkách m² °C/W nebo m² h °C/kcal. Úroveň zanášení by u deskových výměníků tepla měla být výrazně nižší, než u výměníků trubkových ze dvou hlavních důvodů.

Vyšší součinitel prostupu tepla znamená nižší zanášení

U deskových výměníků tepla se dosahuje vyšší turbulence proudění a tím i efektivnějšího přenosu tepla než je tomu u trubkových výměníků tepla. Typická hodnota součinitele prostupu tepla pro aplikace voda/voda je u deskových výměníků 6,000 – 7,500 W/m K, zatímco u trubkových výměníků je to pouze 2,000 – 2,500 W/m K. U trubkových výměníků je hodnota faktoru zohledňujícího zanesení R_f 1x10⁻⁴ mK/W v kombinaci s hodnotou součinitele prostupu tepla k 2,000-2,500 W/m K nám vychází rezerva 20-25%. ($M = k_c \times R_f$). Při dodržení stejné rezervy u deskového výměníku s velikostí součinitele prostupu tepla 6,000 – 7,500 W / m K dosahuje faktor R_f hodnoty pouze 0,33x10⁻⁴ m K/W.

Rozdíly nastávají ve způsobech

zohledňování rezervy na zanesení. Zatímco u trubkových výměníků se rezerva obvykle projevuje prodloužením trubek, při zachování stejného průtoku každou z nich. U deskových výměníků se rezerva zohlední zvýšením počtu desek, ty jsou paralelně řazené a tak dojde k poklesu průtoku na kanál. To má za následek snížení turbulence/účinnosti, a vede k zanášení. Paradoxně tak příliš velká rezerva na zanášení vede k vyššímu zanášení! Pro deskové výměníky tepla v aplikacích voda/voda stačí uvažovat rezervu v rozmezí 0-15% v závislosti na kvalitě vody.

Stručně o společnosti Alfa Laval

Společnost Alfa Laval je jedním z předních světových dodavatelů specializovaných produktů a inženýrských řešení.

Naše vybavení, systémy a služby jsou zaměřeny na podporu zákazníků při optimalizaci výkonnosti jejich procesů.

Pomáháme našim zákazníkům v oblasti ohřevu, chlazení, oddělování a přepravě produktů, jako např. oleje, vody, chemikálií, nápojů, potravin, škrobu a léčiv.

Naše celosvětová organizace pracuje se svými zákazníky ve více než 100 zemích a pomáhá jim držet se před ostatními.

Jak kontaktovat společnost Alfa Laval

Kontaktní informace pro všechny země jsou průběžně aktualizovány na našich internetových stránkách. Pro přístup k informacím prosím navštivte naše stránky www.alfalaval.com.

