

Výmenníky tepla

– princípy, výhody a nevýhody

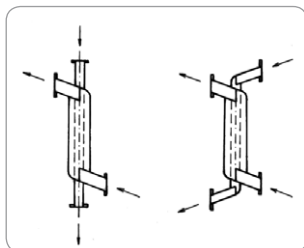
Klasifikácia výmenníkov

Výmenníky tepla (VT) možno klasifikovať podľa spôsobu použitia (ohrievače, chladiče, varáky, kondenzátory ap.), podľa usporiadania (výmena tepla medzi dvoma alebo viacerými médiami ap.), podľa charakteru výmeny tepla (bez zmeny či so zmenou skupenstva) alebo podľa kontaktu jednej a druhej tekutiny (zmiešavacie výmenníky – médiá sa navzájom miešajú, regeneračné výmenníky s jedinou teplovýmennou plochou, ktorú striedavo obmývajú teplý a chladný prúd, pričom sa využíva akumulované teplo, a nakoniec kontinuálne rekuperačné výmenníky, v ktorých sú prúdy oddelené stenou – teplovýmennou plochou). Klasifikácia výmenníkov tepla nie je jednoznačne daná.

Pri vykurovaní obytných a pracovných priestorov sa najčastejšie používajú rekuperačné VT, i keď princíp regeneračného VT môže byť veľmi významný. Ďalej uvedieme vybrané varianty konštrukčného riešenia rekuperačných VT.

Výmenníky typu rúrka v rúrke (double tube)

Rúrkový VT typu rúrka v rúrke pozostáva z jednoduchého koncentrického usporiadania dvoch rúrok s nerovnakým priemerom. Jedna z tekutín prúdi v takto vytvorenom medzikruží, druhá vnútornou rúrkou, ako je znázornené na obr. 1. VT rúrka v rúrke sú často nasadzované v extrémnych a špeciálnych prevádzkových podmienkach. Použitie výmenníkov tohto typu je vhodné napríklad pri nízkych objemových tokoch, ak je požiadavka na čisto súprúdne alebo protiprúdne usporiadanie pri predpísanej zdržnej dobe, veľkých teplotných rozdieloch, nutnosti rýchlej zmeny teploty a prípadne pri vysokých prevádzkových tlakoch.



Obr. 1. Výmenník tepla rúrka v rúrke s tangenciálnym usporiadaním

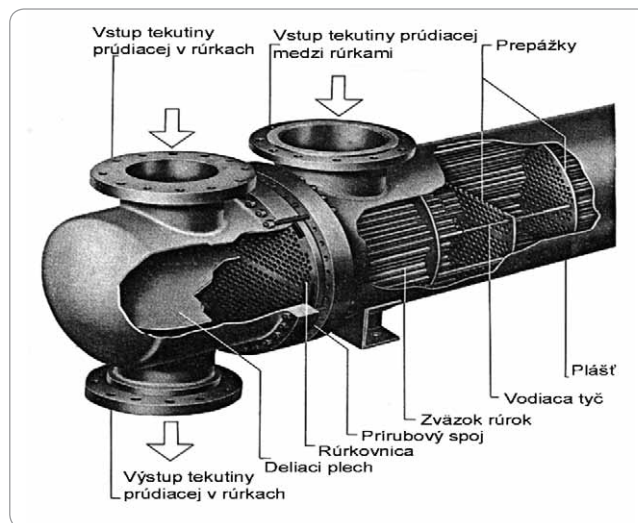
Existuje rad iných usporiadaní, napr. vo forme dvoch rúrok stočených do špirály či skrutkovice (Edwards Engineering Corp.), často sa používajú rebrované rúrky (pozdĺžne rebrovanie). Ako ďalšie možnosti zvyšovania súčiniteľa prestupu tepla sa v laminárnom režime prúdenia osvedčujú vložky vo forme skrútených pásov (twisted tape – skrutkovicové plochy pôsobiace ako mixéry alebo invertory) alebo zvlnené plechové pásy orientované v smere osi rúrky (pulzátory). Vstavby (špirály smerom k stene rúrky) narúšajú medznú vrstvu pri prúdení a tým dosahujeme zníženie termického odporu.

Zvárané plášťové dvojrúrkové výmenníky sú vhodné pre najnáročnejšie aplikácie (vysoký tlak, teplota a požiadavky na tesnosť).

Rúrkové zväzkové výmenníky (shell and tube)

Výmenníky tepla so zväzkom rúrok v plášti (kotlové) patria nepochybne medzi najrozšírenejšie typy výmenníkov. Úvahy zložiť aparát z jednoduchých častí, ktoré by boli nenáročné, viedli k rúrkovým VT, kde je základným konštrukčným prvkom rúrka. Vzhľadom na ich relatívne jednoduchú výrobu, nevelký zastavaný objem a vhodnosť širokého použitia sa ujali v rôznych oblastiach priemyslu, ďaleko presahujúcich rámec len energetiky.

Podľa riešenia problému tepelnej rozťažnosti rúrok a plášťa ich môžeme ďalej rozdeliť na: rúrkové zväzkové VT s pevnou rúrkovnicou, s pevnou rúrkovnicou a kompenzátorom na plášti (obr. 3), s rúrkami v tvare U a plávajúcou hlavou (obr. 4).



Obr. 2. Výmenník tepla so zväzkom rúrok v plášti

Voľba priemeru rúrky ovplyvňuje kompaktnosť výmenníka. Pri tekutinách, ktoré majú sklon k znečisťovaniu teplovýmenné plochy, nie je vhodné voliť malé priemery rúrok. Tieto rúrky je veľmi ťažké čistiť a v tomto prípade by rástli prevádzkové náklady. V tab. 1 je uvedená vhodnosť priemeru rúrky v závislosti od znečistenia.

Tekutina prúdiaca v rúrkach	Čistá	Normálne znečistená	Silne znečistená
R (m^2K/W)	$R \rightarrow 0$	10^{-4}	
Doporučený priemer rúrky d (mm)	6 – 16	16 – 25	25 – 57

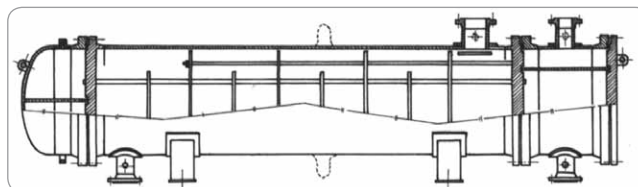
Tab. 1.

Hodnoty uvedené v tab. 1 sú orientačné a, samozrejme, treba zosúladiť otázku optimálnej rýchlosti prúdenia pri zadanom hmotnostnom toku.

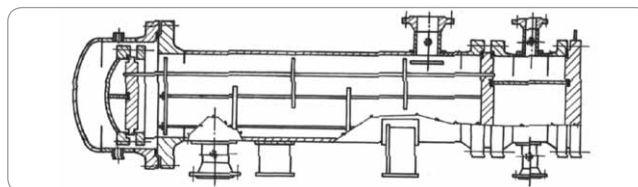
Rúrky pri kotlovom výmenníku tepla bývajú v trojuholníkovom alebo štvorcovom usporiadaní. Pri poloprevádzkových výmenníkoch tepla sa stretávame s vncovito rozloženým usporiadaním.

Pri návrhu usporiadania kotlového výmenníka treba najčastejšie odpovedať na nasledujúce otázky:

- Ktoré médium umiestniť do rúrkového a ktoré do medzirúrkového priestoru? – Pre rúrky je vhodnejšie chemicky agresívnejšie



Obr. 3. Výmenník tepla s vlnovcovým kompenzátorom



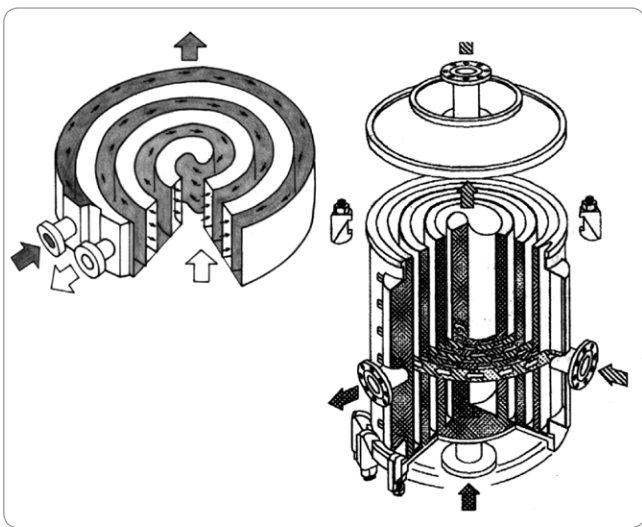
Obr. 4. Výmenník tepla s plávajúcou hlavou

médium, náchylnejšie na zanášanie (fouling), ďalej prúd, kde je vyšší tlak, ale spravidla nižšia teplota (čo znamená, že dávame prednosť ťahovému dilatáčnemu namáhaniu rúrok – má zmysel len pri výmenníku s pevnými rúrkovnicami). Ak dochádza k fázovým zmenám (var, kondenzácia), preferuje sa spravidla medzirúrkový priestor (je väčší a sú tam nižšie tlakové straty).

- Koľko ťahov zvoliť v rúrkach a v plášti? – Táto voľba má vplyv na súčiniteľ prechodu tepla a tlakovú stratu.
- Aké priehradky? Najbežnejšie sú segmentové (t. j. priečne s výrezom v tvare kruhového výseku).

Špirálové výmenníky (helical)

Pri predchádzajúcich kotlových VT bola horúca a studená tekutina oddelená valcovou stenou. Špirálové VT patria k skupine rekuperačných výmenníkov, kde sú tekutiny oddelené rovinnou stenou (doskové, lamelové, špirálové, kompaktné výmenníky a duplikátory). Pri špirálových výmenníkoch prúdi horúca a studená tekutina v špirálovo zakrivených kanáloch, ako je znázornené na obr. 5. Zakrivenie kanála zvyšuje intenzitu prestupu tepla a niekedy má súčasne samočistiaci účinok.

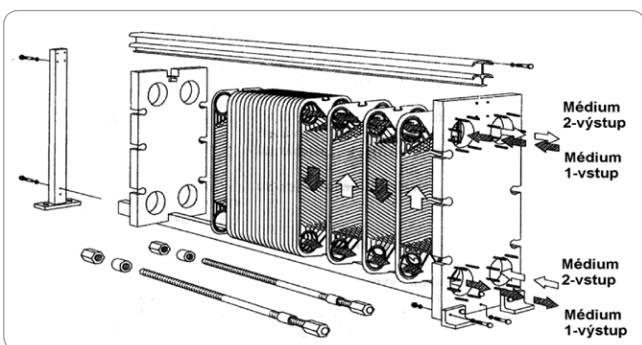


Obr. 5. Špirálové výmenníky

Doskové výmenníky (plate, gasket)

Doskové VT sú skonštruované na základe stavebnicového princípu (obr. 6), tzn., že veľkosť teplovýmennnej plochy možno prispôbiť pridaním alebo odobratím dosák. Tekutiny (takmer výhradne kvapaliny) prúdia v štrbinách medzi doskami, ktoré sú profilované tak, aby bol prestup tepla čo najvyšší a aby súčasne nedochádzalo k nadmernému zanášaniu teplovýmenných plôch. Doskové výmenníky sú v porovnaní s rúrkovými výmenníkmi podstatne menej náchylné na zanášanie.

Typická doska výmenníka je vylisovaná z nehrdzavejúceho plechu a má štyri otvory; pre každý kanál sú vždy dva otvory funkčné a druhé dva oddelené od prietochného kanála tesniacou vložkou. Spôsob tesnenia, rovnako ako tvarovanie dosák, je predmetom sústavného vývoja.



Obr. 6. Usporiadanie doskového výmenníka tepla

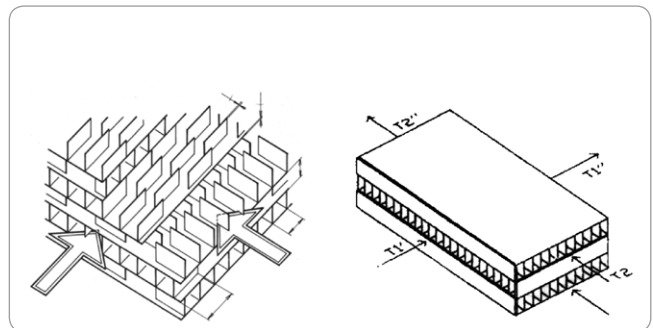
Výmenníky so stieraným povrchom (scraped surface)

Pri spracovaní vysoko konzistentných pastovitých látok, ktoré nezládnú doskové alebo špirálové výmenníky, prípadne keď sa požaduje spracovanie termolabilných látok, musia sa voliť výmenníky s teplovýmennou plochou, ktorú stierajú rotujúce nože. Tieto výmenníky sa nazývajú votátory.

Kompaktné výmenníky (compact)

Pod názvom kompaktný výmenník sa spravidla rozumie výmenník s mernou teplovýmennou plochou väčšou ako 700 m²/m³. Tieto vysoké hodnoty špecifického povrchu dosahujú až kompaktné výmenníky, ktoré sa používajú len pri plynoch a nižšom tlaku (do 1 MPa). Rozsah pracovných teplôt býva pomerne široký, od kryogénnych teplôt až po 200 °C pri spájkovaných alebo cca 800 °C pri zvarovaných výmenníkoch.

Okrem naznačeného usporiadania na obr. 7 s krížovým tokom sa môžeme stretnúť aj s protiprúdny alebo súprúdny vyhotovením kompaktných výmenníkov. Pri vyššom tlaku (do 3 MPa) sú vhodné rúrkovo-rebrové výmenníky (kruhové alebo sploštené rúrky, zalísované do paralelných dosák – krížový tok), ktorých špecifický povrch býva výrazne nižší.



Obr. 7. Kompaktný výmenník

Voľba vhodného typu výmenníka tepla

Pri výbere typu výmenníka, ktorý je vhodný pre uvažovanú aplikáciu, možno použiť expertné systémy založené na databázach už existujúcich inštalácií, alebo možno vychádzať zo základných charakteristík výmenníkov uvedených v tab. 2:

Tabuľka 2. Typ výmenníka	Tlak (MPa)	Teplota (°C)	Kompaktnosť	Fouling	Čistiteľnosť	Použitie
Rúrkový	>4	>300	+	+	+	univerzálne
Špirálový	1,8	400	++	+++	+	univerzálne (nieG-G)
Doskový	2,5 tesnený 4 zvarovaný	100 – 200 300 zvarovaný	+++	++	++-	Nie pre plyny (s výnimkou odparovania)
So stieraným povrchom	2	230		++++	+	Viskózne kvapaliny

Tab. 2.

Treba si uvedomiť, že voľba správneho typu VT je pri jeho návrhu prioritná. Je základným predpokladom jeho optimálnej prevádzky. Ďalšou nutnou podmienkou je tepelnotechnický výpočet jeho optimálnych rozmerov a prevádzkových charakteristík.

Je to všetko? Žiadne iné spôsoby prestupu tepla neexistujú? Žiadne iné konštrukčné usporiadania neexistujú? Samozrejme, že existuje celý rad kombinácií už spomenutých VT a nasledujúce riadky poskytnú prehľad ich výhod a nevýhod pri rôznom type použitia a rozsah základných parametrov.

Rúrkový výmenník tepla

Rozsah tlakov a teplôt bežne do: p = 4 MPa, T = 500 °C (špeciálne p = 6,3 MPa)

Pomer teplovýmennej plochy a zastavaného objemu:

- pri priemere rúrky $d = 20 \text{ mm}$: $\chi \approx 100 \text{ m}^2/\text{m}^3$,
- pri priemere rúrky $d = 25 \text{ mm}$: $\chi \approx 75 \text{ m}^2/\text{m}^3$.

Použitie v systéme:

- kvapalina – kvapalina,
- kondenzácia – kvapalina,
- odparovanie – kondenzácia,
- plyn – plyn,
- kondenzácia – plyn.

Výhody:

- možnosť použitia širokého rozsahu materiálov – oceľ, plastická látka, sklo ap.,
- prietokové prierezy sa dajú pomerne vhodne voliť na oboch stranách,
- použitie v širokom rozsahu teplôt a tlakov,
- menej náročná výroba,
- možnosť mechanického čistenia.

Nevýhody:

- relatívne vysoké tlakové straty, najmä vo viacchodých výmenníkoch,
- rúrkové výmenníky majú väčšiu hmotnosť (vzhľadom na jednotkovú teplovýmennú plochu).

Výmenník tepla rúrka v rúrke

Široký rozsah teplôt a zvlášť vysoké tlaky.

Pomer teplovýmennej plochy a zastavaného objemu: $\chi \approx 0,6 - 5 \text{ m}^2/\text{m}^3$

Použitie v systéme:

- plyn – plyn,
- plyn – kvapalina,
- kvapalina – kvapalina,
- kondenzácia – plyn
- kondenzácia – kvapalina.

Výhody:

- možno dosiahnuť čistý súprúdny a protiprúdny tok,
- realizácia veľkej teplotnej diferencie medzi vnútornou a vonkajšou rúrkou,
- variabilita použitia materiálu,
- dobrá možnosť čistenia oboch plôch.

Nevýhody:

- vysoké požiadavky na materiál a zastavanú plochu.

Doskový výmenník tepla

Rozsah tlakov a teplôt bežne do: $p = 0,6 \text{ MPa}$ (špeciálne $p = 6 \text{ MPa}$), $T = 200 \text{ }^\circ\text{C}$

Pomer teplovýmennej plochy a zastavaného objemu: $\chi \approx 250 \text{ m}^2/\text{m}^3$

Orientačné hodnoty súčiniteľa prechodu tepla v systéme kvapalina – kvapalina: $500 - 2\,000 \text{ W/m}^2\text{K}$

Použitie v systéme:

- kvapalina – kvapalina,
- odparovanie – kondenzácia.

Výhody:

- teplovýmennú plochu možno podľa požiadaviek zväčšiť alebo zmenšiť,
- profilovanie dosák vedie i pri malých rýchlostiach k turbulentnému toku,
- krátke zdržné doby,
- veľmi dobrá možnosť čistenia,
- hygienické.

Nevýhody:

- obmedzený rozsah teplôt a tlakov (daný materiálom tesnenia a tuhosťou dosák),
- tesnenie (dlhé styčné plochy).

Špirálový výmenník tepla

Rozsah tlakov a teplôt bežne do: $p = 1 \text{ MPa}$, $T = 300 \text{ }^\circ\text{C}$

Pomer teplovýmennej plochy a zastavaného objemu: $\chi \approx 40 - 60 \text{ m}^2/\text{m}^3$

Orientačné hodnoty súčiniteľa prechodu tepla v systéme:

- kvapalina – kvapalina: $700 - 2\,500 \text{ W/m}^2\text{K}$,
- kondenzácia – kvapalina: $900 - 3\,500 \text{ W/m}^2\text{K}$

Použitie v systéme:

- kvapalina – kvapalina,
- kondenzácia – kvapalina.

Výhody:

- malé znečistenie teplovýmennej plochy aj pri tekutinách náchylných na vytváranie nánosov,
- možnosť mechanického čistenia,
- možno dosiahnuť súprúdne a protiprúdne usporiadanie,
- vysoké hodnoty súčiniteľov prechodu tepla.

Nevýhody:

- obmedzený rozsah teplôt a tlakov,
- náročnejšia výroba.

Výmenníky tepla s orebrovanými rúrkami

Rozsah tlakov a teplôt bežne do: $p = 6 \text{ MPa}$, $T = 400 \text{ }^\circ\text{C}$

Pomer teplovýmennej plochy a zastavaného objemu: $\chi \approx 400 \text{ m}^2/\text{m}^3$

Orientačné hodnoty súčiniteľa prechodu tepla v systéme:

- kvapalina – plyn: $700 - 2\,500 \text{ W/m}^2\text{K}$
- kvapalina – kvapalina: $700 - 2\,500 \text{ W/m}^2\text{K}$,
- kondenzácia – kvapalina: $900 - 3\,500 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Použitie v systéme:

- plyn – kondenzácia,
- pri vhodnom zapojení aj pre plyn – plyn.

Výhody:

- možno dosiahnuť krížový a krížový protiprúdny tok,
- veľkosťou orebrovania možno prispôsobiť tok jednej a druhej tekutiny,
- dobré čistenie (ťažšie pri rebrách),
- možnosť použitia širokého rozsahu materiálov na rebrá a rúrky.

Nevýhody:

- náročnejšia výroba,
- nízke súčinitele prechodu tepla.

Hadový výmenník tepla

Rozsah tlakov a teplôt bežne do: $p = 12 \text{ MPa}$, $T = 600 \text{ }^\circ\text{C}$

Pomer teplovýmennej plochy a zastavaného objemu: $\chi \approx 10 \text{ m}^2/\text{m}^3$

Orientačné hodnoty súčiniteľa prechodu tepla v systéme:

- kvapalina – plyn: $700 - 2\,500 \text{ W/m}^2\text{K}$
- kvapalina – kvapalina: $700 - 2\,500 \text{ W/m}^2\text{K}$,
- kondenzácia – kvapalina: $900 - 3\,500 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Použitie v systéme:

- kvapalina – plyn,
- kvapalina – kvapalina,
- kondenzácia – kvapalina.

Výhody:

- jednoduchá výroba,
- variabilné vysoké α .

Nevýhody:

- vyššia tlaková strata,
- malé hmotnostné toky,
- kontinuálne vnútri.

Literatúra

[1] VDI-Wärmeatlas, Berechnungsblätter fuer den Wärmeübergang, 10. Auflage, ISBN 3-540-62719-7, Springer Verlag, 2006.

[2] Jelemenský, K. – Šesták, J. – Žitný, R.: Tepelné pochody. Bratislava: Vydavateľstvo STU 2004. ISBN 80-227-2109-3,

[3] Bittermann J.: Kontrollierter Austausch, Wärmeaustauscher: Kombi- Systeme und neue Fertigungsverfahren fuer neue Applikationen, Process /de/, Nr. 6, s. 86, 2007.

Celý článok nájdete v online vydaní tohto čísla na www.idbjournal.sk

doc. Ing. Karol Jelemenský, PhD.

Ústav procesného a fluidného inžinierstva
SjF STU Bratislava
karol.jelemensky@stuba.sk