

2 VÝMENNÍKY TEPLA

Výmenníky tepla sú technické zariadenia slúžiace na sprostredkovanie prestupu tepla medzi dvoma, poprípade i viac látkami.

Podľa účelu použitia majú výmenníky tepla rôzne názvy (napr. ohrievač, kondenzátor, výparník), často doplnené označením hlavnej pracovnej látky (napr. chladič oleja, prehrievač pary), typu teplovýmenného povrchu alebo spôsobu konštrukčného riešenia (napr. rúrkový ohrievač, lamelový chladič) alebo charakteru prestupu tepla (napr. zmiešavací kondenzátor, radiačný rekuperátor).

Prestup tepla vo výmenníkoch tepla býva kombinovaný proces, na ktorom sa podieľajú všetky druhy mechanizmov prestupu tepla, t. j. prirodzená a vynútená konvekcia, tepelné žiarenie a vedenie tepla a ktorý v špeciálnych prípadoch prebieha aj pri fázových premenách. Najčastejšie sú výmenníky s prevládajúcou konvekčnou zložkou prestupu tepla.

ROZDELENIE VÝMENNÍKOV TEPLA

KONTAKTNÉ VÝMENNÍKY TEPLA

Sú to výmenníky tepla, pri ktorých prestup tepla prebieha pri bezprostrednom styku teplovýmenných látok.

POVRCHOVÉ VÝMENNÍKY TEPLA

Nazývané tiež rekuperátory. Vyznačujú sa tým, že pracovné látky, medzi ktorými sa odovzdáva teplo, oddeľuje pevná stena elementov tvoriacich teplovýmenný povrch.

REGENERAČNÉ VÝMENNÍKY TEPLA

Nazývané tiež regenerátory. Vyznačujú sa tým, že prestup tepla medzi dvoma hlavnými látkami je sprostredkovaný treťou teplotnosnou látkou (prostredníkom), ktorá akumuluje teplo prijaté od teplejšej látky a odovzdáva ho chladnejšej.

PRINCÍP VÝPOČTU VÝMENNÍKA TEPLA

Návrh a tepelný výpočet vychádza zo všeobecných zákonitostí termokinetiky a mechaniky tekutín. Významné činitele sú tlakové straty oboch teplotnosných látok. Pri konštrukcii sa berú do úvahy tiež pevnostné otázky, vrátane dôsledkov teplotných dilatácií, korózie, zanášania teplovýmenných plôch, teda všetko, čo môže mať vplyv na prevádzkovú spoľahlivosť a životnosť výmenníkov. Aktívna teplovýmenná plocha výmenníkov tepla sa vytvára spojením zvyčajne veľkého počtu tzv. teplovýmenných elementov. Medzi najpoužívanejšie patria hladké rúrky kruhového prierezu, spravidla pri takom usporiadaní vo zväzkoch, že jedna z teplotnosných látok prúdi naprieč rúrok.

Na strane s menším súčiniteľom prestupu tepla sa povrch účelne zväčšuje rebrovaním; rúrky s vonkajším rebrovaním kruhového alebo obdĺžnikového tvaru patria medzi najčastejšie používané teplovýmenné elementy (napr. výmenník plyn-kvapalina). Podmienkou správnej funkcie je dobrý kontakt rebier so základnou rúrkou.

Snaha o vyššiu intenzifikáciu prestupu tepla na oboch stranách je zdôraznená pri doskových teplovýmenných elementoch; vhodným tvarovaním dosák alebo vnútorných profilových vložiek sa dosahuje to, že tekutiny prúdia v relatívne krátkych kanáloch s malým hydraulickým prierezom, často s premenným prietokovým prierezom v smere prúdu.

Pokrokovým prvkom pre stavbu výmenníkov tepla sú tepelné trubice s hladkým alebo rebrovaným vonkajším povrchom. Intenzívny prestup tepla sprostredkúva vhodná, vnútri

trubice uzavretá teplonosná látka, ktorá mení svoje skupenstvo. Jej voľba sa okrem iného riadi teplotami, pri ktorých má výmenník pracovať.

Základný princíp výpočtu výmenníkov je opísaný v predchádzajúcej kapitole.

Postup je nasledovný:

- Navrhne sa typ výmenníka tepla (rúrkový, doskový...) podľa odporúčaní špecializovanej literatúry, podľa vlastností médií, ktoré sa majú chladit' alebo ohrievať, podľa charakteru technológie a ceny výmenníka tepla. Je to veľmi náročný krok, ktorý obyčajne vyžaduje od projektanta značné skúsenosti;
- Navrhne sa usporiadanie prúdov (súprúd, protiprúd, krížový tok...);
- Vypočíta sa potrebné množstvo tepla, ktoré treba odovzdať medzi jednotlivými médiami podľa rovnice (1.4);
- Vyhľadajú sa v odbornej literatúre kritériálne vzťahy pre výpočet Nusseltových čísiel pre daný typ zariadenia a charakteru prúdenia pre obidve médiá, teda ohrievané a chladené. Z nich sa vypočítajú súčinitele prestupu tepla α_1 a α_2 na oboch stranách teplovýmennej plochy;
- Vypočíta sa úhrnný súčiniteľ prestupu tepla k , do ktorého sa dosadí okrem súčiniteľov prestupu tepla aj hrúbka steny teplo-výmennej plochy a jej tepelná vodivosť;
- Určí sa veľkosť teplovýmennej plochy (1.3);
- Spraví sa hydrodynamický výpočet s cieľom určiť tlakové straty v kanáloch, v ktorých prúdi ohrievané a chladené médium.

Týmto je ukončený procesný výpočet. Nakoľko sú výmenníky tepla často tlakové zariadenia, v druhej časti návrhu, ktorý je však mimo rozsahu tohto textu, sa musia vykonať príslušné pevnostné výpočty, ktorých rozsah je stanovený normou.

VPLYV NEČISTÔT NA PRESTUP TEPLA STENOU VÝMENNÍKA TEPLA

Úhrnný súčiniteľ prestupu tepla k , vypočítaný za predpokladu dokonale čistej teplovýmennej plochy, v skutočnosti v prevádzke vykazuje nižšie hodnoty. Dôvodom sú vrstvy nánosov a usadenín na čistom materiáli teplovýmennej plochy.

Vrstvy nánosov a usadenín sú dvojakého druhu:

- Vrstvy slúžiace na antikoróznú ochranu konštrukčného materiálu, ako sú pasivačné vrstvy, smalty a pod. Hrúbka týchto vrstiev sa v závislosti od času v podstate nemení, máva mierny úbytok v dôsledku abrázie a korózie.
- Vrstvy usadenín, vznikajúce chemickými reakciami medzi prúdiacimi tekutinami a materiálom steny, alebo usadzovaním zrazenín a kalov. Táto vrstva v závislosti od času narastá.

Za predpokladu, že súčinitele prestupu tepla vnútri i zvonka rúrky α_1 a α_2 sú nezávislé od hrúbky usadenín, zmenší sa súčiniteľ prechodu tepla čistého výmenníka k_o na hodnotu k_u podľa vzťahu

$$\frac{1}{k_u} = \frac{1}{k_o} + \frac{\delta_u}{\lambda_u} \quad (2.1)$$

kde

δ_u – súčiniteľ tepelnej vodivosti usadenín (W · m⁻¹ · K⁻¹)
 λ_u – hrúbka usadenín (m)

TEPLONOSNÉ LÁTKY

V mnohých výrobných zariadeniach často treba riešiť dodávku tepla z tepelného zdroja do spracúvanej suroviny a jeho výmenu. To sa uskutočňuje pomocou teplonosnej látky tak, že látka do seba akumuluje teplo zo zdroja tepla a odovzdáva ho spracúvanej surovine v spotrebičoch tepla. Podľa parametrov daných procesom sa volí najjednoduchší druh teplonosnej látky a hospodárny tepelný systém.

Pri voľbe teplonosnej látky treba prihliadať predovšetkým na prevádzkovú teplotu pri ktorej proces prebieha a podľa nej voliť optimálnu teplotu teplonosnej látky. Najvýhodnejšia teplota závisí od teplotného rozdielu ohrievajúcej látky a ohrievanej suroviny s prihliadnutím na podmienky prestupu tepla v spotrebiči a tepelnom zdroji s uvažovaním investičných nákladov na výmenné plochy výmenníkov.

Teplota ohrievajúcej látky už sama určuje jej druh, lebo použitie jednotlivých látok je obmedzené predovšetkým rozsahom teplôt. Ak pre danú teplotu možno voliť z niekoľkých druhov teplonosných látok, rozhodujúca je hospodárnosť, bezpečnosť prevádzky a iné okolnosti.

HORÚCA VODA

Charakteristické vlastnosti vody vyhovujú pomerne dobre požiadavkám na teplonosné médium. Pomerne značná zmena mernej hmotnosti vody pri rôznych teplotách má veľký význam pre prirodzenú cirkuláciu vo vykurovacom systéme. So zvyšovaním teploty sa zväčšuje objem vody, stlačiteľnosť je však nepatrná. Preto beztlakové systémy vyžadujú expanzné nádrže a vysokotlakové systémy regulátory tlaku. Nízka viskozita vody je priaznivá pre prirodzenú cirkuláciu, vysoké merné teplo má vplyv na pomerne malé prierezy potrubí. Súčiniteľ prestupu tepla z vody do steny alebo zo steny do vody je pomerne vysoký.

Systémy ohrievania cirkulujúcou vodou sú založené na rovnakom princípe. Je to uzavretý cirkulačný okruh, celkom naplnený vodou. Voda akumuluje najprv teplo v ohrievacom telese a ohriata postupuje do aparátov, kde odovzdáva svoje akumulované teplo spracúvanej surovine. Ochladená voda sa vracia späť do ohrievača, takže v systéme trvalo cirkuluje. Cirkulácia vody v systéme je samočinná alebo zabezpečená pomocou čerpadla.

VODNÁ PARA

Vodná para je v priemysle najpoužívanejšia teplonosná látka. Bežne sa ňou ohrievajú tuhé látky i tekutiny všade tam, kde svojimi parametrami vyhovuje podmienkam prevádzky.

- ***mokrú vodnú paru***

Pri mokrej pare sa hovorí o vlhkosti pary, čo značí obsah vody v pare, udáva sa percentom obsahu vody v pare. Vlhkosť však znižuje celkový tepelný obsah i výparné teplo a je preto pre ohrievanie nežiaduca. Vodné kvapky treba odlúčiť v odlučovačoch ešte pred miestom spotreby, čím dostaneme sýtu paru.

- ***sýta vodná para***

Sýta vodná para je ako teplonosná látka ideálna. Využíva sa pri nej výparné (latentné) teplo, ktoré sa uvoľní pri kondenzácii na stenách spotrebičov. Prestup tepla z kondenzujúcej pary do stien spotrebiča je veľký, takže veľkosť vykurovacej plochy je hospodárna.

- ***prehriata vodná para***

Vlastnosti prehriatej pary, ak ju posudzujeme z hľadiska vyhrievacej látky, sú rovnaké ako pri plynach. Súčiniteľ prestupu tepla pri ochladzovaní prehriatej pary

(nekondenzujúcej) je pomerne malý, ako pri všetkých plynch. Súčiniteľ prestupu tepla je priamo úmerný rýchlosti prúdenia pary pozdĺž vykurovacej plochy.

- **štiavna para**

Pary vzniknuté odparovaním z vodného roztoku, tzv. štiavne pary (napr. odparovaním ovocných štiav – odtiaľ názov) sa používajú na vyhrievanie tepelných zariadení, zvyčajne pri druhých a ďalších stupňoch pri niekoľkostupňovom usporiadaní staníc. Aby sa dosiahol teplotný spád, musí každý ďalší stupeň pracovať s nižším tlakom, ako má predchádzajúci stupeň. S takýmto usporiadaním sa stretávame napr. pri odparkách. Pri štiavných parách súčiniteľ prestupu tepla môže značne poklesnúť znehodnotením pary plynmi uvoľnenými z roztoku pri odparovaní, ak sa nepostaráme o dobré odplynenie. Z toho dôvodu vychádza vyhrievacia plocha pomerne väčšia, ako pri sýtej pare dobre odvdzdušnenej.

Veľmi dôležitou časťou ohrievacej sústavy je odvádzač kondenzátu. Dôvodom pre jeho zaradenie je udržiavanie celej sústavy na požadovanom tlaku a trvalý odvod vznikajúceho kondenzátu. Nesprávna funkcia odvádzača (zle navrhnutá veľkosť, zlá údržba a pod.) má značný vplyv na hospodárnosť prevádzky zariadení s parným ohrevom.

DIFENYLOVÉ ZMESI

Pri použití vodnej pary, ako ohrievajúcej látky pri dosahovaní vyšších teplôt (nad 200 °C), sa dostávame do ťažkostí, pretože sýta vodná para dosahuje tlak viac ako 1,6 MPa. Zariadenia pracujúce pri takýchto podmienkach sú investične aj prevádzkovo náročné. Preto v takýchto prípadoch môžeme použiť látky, ktoré pri rovnakej teplote ako vodná para majú omnoho nižší tlak. Majú rôzne obchodné označenie, v podstate sú to difenylové zmesi. Pre porovnanie uvedieme napr. *Dowtherm*, ktorý má teplotu bodu varu pri atmosférickom tlaku 258 °C, pri tejto teplote tlak sýtej vodnej pary dosahuje už 4,6 MPa. Výrobca vždy uvádza maximálne prevádzkové teploty, aby nenastal rozklad teplotnosnej látky.

MINERÁLNE OLEJE

S použitím minerálneho oleja na prestup tepla z tepelného zdroja do spotrebiča sa stretávame tam, kde ide o vyššie teploty a kde nemôžeme použiť vodu alebo vodnú paru pre ich vysoké tlaky a priame vyhrievanie spalinami pre nebezpečenstvo náhleho prehriatia produktu. Vlastnosti olejov nie sú pre prestup tepla veľmi výhodné. Okolnosti, že ich teploty bodu varu sú vysoké a že oleje zostávajú do určitej teploty stabilné však spôsobujú ich pomerne časté používanie. Teplo sa odvádza len v podobe tepla kvapalinového umelou cirkuláciou kvapalnej látky. Normálny rozsah teplôt, s ktorými sa v systéme pracuje býva 300 – 320 °C. Súčiniteľ prestupu tepla je ako pri všetkých viskózných látkach pomerne malý a pri vyšších teplotách sa zlepšuje.

SPALINY

V zariadeniach na ohrievanie surovín spalinami sa využíva priamo teplo vznikajúce spaľovaním tuhých, kvapalných alebo plyných palív. S týmto spôsobom ohrevu sa stretávame všade tam, kde sa požadujú vyššie teploty, nedosiahnuteľné pomocou vodnej pary alebo inými vhodnými vyhrievacími látkami. Pomerne malý prestup tepla zo spalín do steny vyhrievaného aparátu vyžaduje vysokú teplotu spalín, aby teplotný rozdiel, a tým aj prestup tepla, boli čo najvyššie.

Nevýhodou ohrevu spalinami je malá možnosť regulácie tepelného výkonu, nebezpečenstvo miestneho prehriatia a otvoreného ohňa. Veľký prebytok vzduchu v spalinách pri ich riedení má za následok nežiaducu oxidáciu stien aparátu.

INÉ SPÔSOBY OHREVVU

Sem môžeme zaradiť ohrev soľnými taveninami, organickými silikátmi, tekutými kovmi, elektrickým prúdom, vo fluidnom lôžku a ďalšie.

TYPY A KONŠTRUKCIE VÝMENNÍKOV TEPLA

Konštrukcie výmenníkov tepla musia vyhovovať mnohostranným požiadavkám prevádzkovej technológie, dielenského spracovania a ekonomie. Medzi hlavné požiadavky treba radiť veľký súčiniteľ prechodu tepla (úhrnný súčiniteľ prestupu tepla), malý prietokový odpor, dobrú možnosť čistenia vyhrievacej plochy, odolnosť proti korózii pri rozličných látkach, prispôsobenie konštrukcie a hmotnosti daným výrobným možnostiam a hospodárne využitie materiálu.

V tejto časti sú opísané bežné typy a rôzne konštrukcie výmenníkov tepla, ktoré sa rozdeľujú podľa tvaru vyhrievacích elementov, spôsobu výmeny tepla alebo podľa druhu ohrievaných látok.

Pri klasifikácii a rozdelení výmenníkov tepla sa z hľadiska konštrukcie uvažujú geometrické znaky polotovarov, z ktorých sa vyrábajú teplovýmenné plochy. Najstaršie a doteraz najrozšírenejšie konštrukčné prvky sú rúrky, ktoré majú priemer od niekoľko milimetrov až do niekoľko desiatok milimetrov. Druhým polotovarom, používaným ako konštrukčný prvok pre teplovýmenné plochy, je plech, ktorý môže byť spracúvaný rôznym spôsobom. Rúrky aj plechy sú zhotovené z kovových materiálov rôzneho chemického zloženia, povrchovej úpravy a s rozdielnou odolnosťou proti korózii.

Pri výbere výmenníkov pre konkrétny prípad sa musí vždy uvážiť, či predpokladaný typ a konštrukcia je pre príslušné prevádzkové podmienky vôbec vhodný a použiteľný. Prevádzkovými podmienkami sa rozumie najmä:

- *prevádzkový tlak*

Prevádzkový tlak sa môže pohybovať od hlbokého vákua v zlomkoch pascalov až po tlaky dosahujúce stovky megapascalov.

- *prevádzková teplota*

Prevádzková teplota sa môže pohybovať od hodnôt blízkych absolútnej nule do 1000 °C i viac.

- *hmotnostný prietok*

Hmotnostný prietok sa môže pohybovať od niekoľko gramov až po stovky kilogramov za sekundu.

- *prístupnosť teplovýmennej plochy*

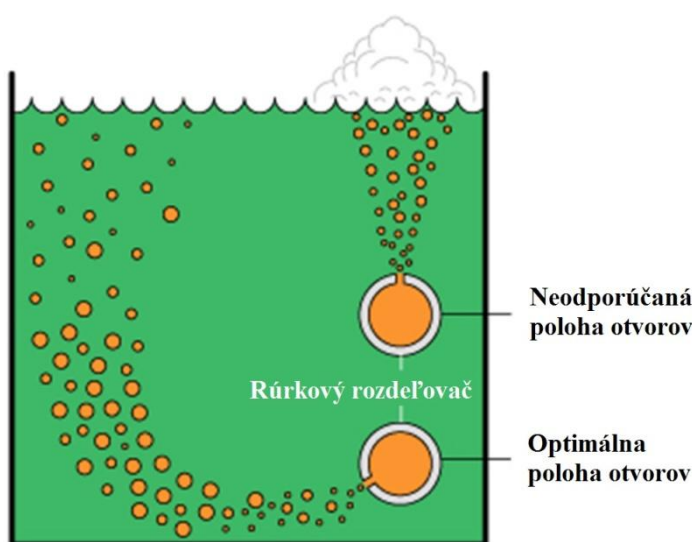
Prístupnosť teplovýmennej plochy je nevyhnutná pre čistenie a kontrolu stavu pracovných plôch pri práci s agresívnymi chemickými alebo heterogénnymi suspenziami so sklonom k usadzovaniu, inkrustácii a korózii.

- *sanácia a hygiena*

Sanácia a hygiena teplovýmennej pracovnej plochy je špecifickou podmienkou pre výmenníky potravinárskej a zdravotnej techniky. Požiadavka sanácie zahŕňa okrem čistoty fyzikálnej a chemickej i bakteriálnu čistotu a neškodnosť teplovýmenných plôch.

VÝMENNÍKY TEPLA PRE PRIAMY OHREV

Jednou z možností, ako uskutočniť priamy ohrev, je prívod pary priamo do ohrievaného média. Jednoduchým technickým zariadením je v tomto prípade rúra s otvormi, ponorená priamo do ohrievaného média. Optimálna poloha otvorov je zobrazená na obrázku 2.1. Otvory by nemali smerovať smerom k hladine, pretože para potom uniká priamo k hladine a zvyšok objemu nádoby nie je ohrievaný. Ak sú otvory orientované smerom ku dnu, para z nich vychádza vo forme malých bubliniek, ktoré postupne kondenzujú a ku hladine sa dostáva kondenzát.



Obr. 2.1. Orientácia otvorov v rúre pre prívod pary [4]

VÝMENNÍKY TEPLA PRE NEPRIAMY OHREV

Pre nepriamy ohrev jedného média druhým existuje veľké množstvo konštrukčných riešení. Tieto sú založené na tom, na aký účel sa má ohrev, alebo chladenie použiť.

- **nádoby s vyhrievaným plášťom**

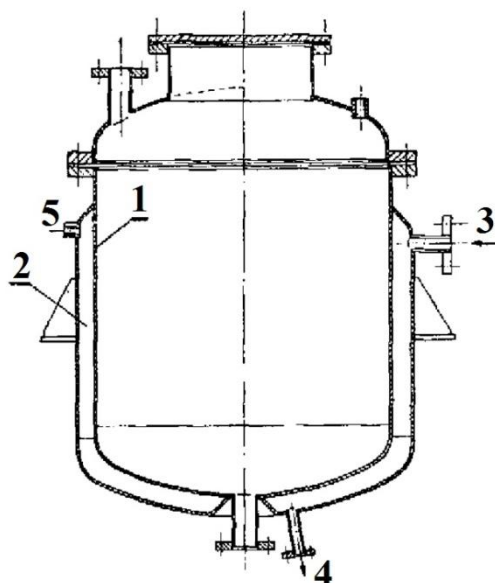
Nádoby tohto typu majú vzájomne podobné prevádzkové podmienky, ale podľa charakteru technologického procesu im dávame rôzne názvy ako: *autoklávy, reaktory, nitrátory, polymerizátory, varné kotle, destilačné kotle* a pod. Rôzne technologické procesy vyžadujú, aby spracúvaná surovina bola ohriata alebo ochladená na určitú teplotu. Pri reakčných procesoch treba teplo privádzať alebo odvádzať podľa charakteru reakcie.

Aby bol prenos tepla zo steny do spracúvanej suroviny intenzívnejší, býva nádoba zväčša opatrená mechanickým miešadlom.

Nádoby s vyhrievacím plášťom sa používajú hlavne pri nádobách valcového tvaru. Pracovný priestor nádoby obsahuje ohrievanú kvapalinu, pričom stena tohto priestoru je tvorená kovovým plášťom. Okolo tohto plášťa sa nachádza ďalší plášť, podobného tvaru ako nádoba, ktorý sa nazýva duplikátor. Priestor medzi stenou a duplikátorom sa využíva pre ohrievacie alebo chladiace médium. Toto médium môže byť para alebo kvapalina, a to či už voda, alebo špeciálne látky, ako už bolo spomenuté.

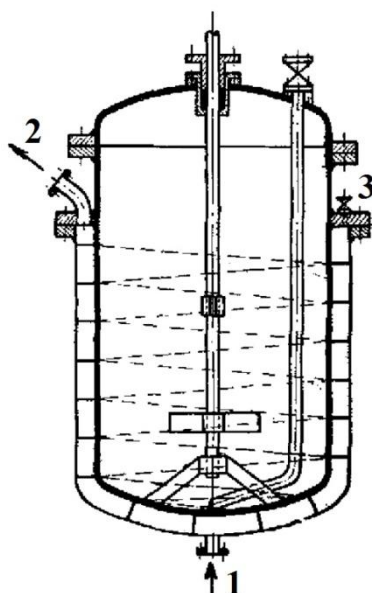
Na obrázku 2.2 je nádoba s privareným vyhrievacím plášťom, vyhrievacou látkou je para. Pozícia 1 označuje vlastnú nádobu, pozícia 2 vyhrievací plášť, hrdlom 3 vstupuje

para, hrdlom 4 vyteká kondenzát a v mieste 5 sa parný priestor odvzdušňuje. Pri plášťoch vyhrievaných parou môže byť medzera oboch plášťov pomerne malá.



Obr. 2.2. Nádoba s parným ohrevom [9]:
 1 – stena nádoby, 2 – duplikátor, 3 – prívod pary,
 4 – odvod kondenzátu, 5 – odvzdušnenie

Pri plášťoch vyhrievaných kvapalnou látkou býva pre lepšiu cirkuláciu a dosiahnutie primeranej rýchlosti kvapaliny plášť opatrený navarenou špirálou. Špirála zaručuje dokonalú cirkuláciu po celej vyhrievanej ploche a vylučuje mŕtve kúty, ktoré vznikajú pri plášťoch bez cirkulačnej špirály. Na obrázku 2.3 je pozícia 1 vstup kvapalnej vyhrievacej látky, 2 je jej výstup a 3 odvzdušnenie. Nádoba má miešadlo.

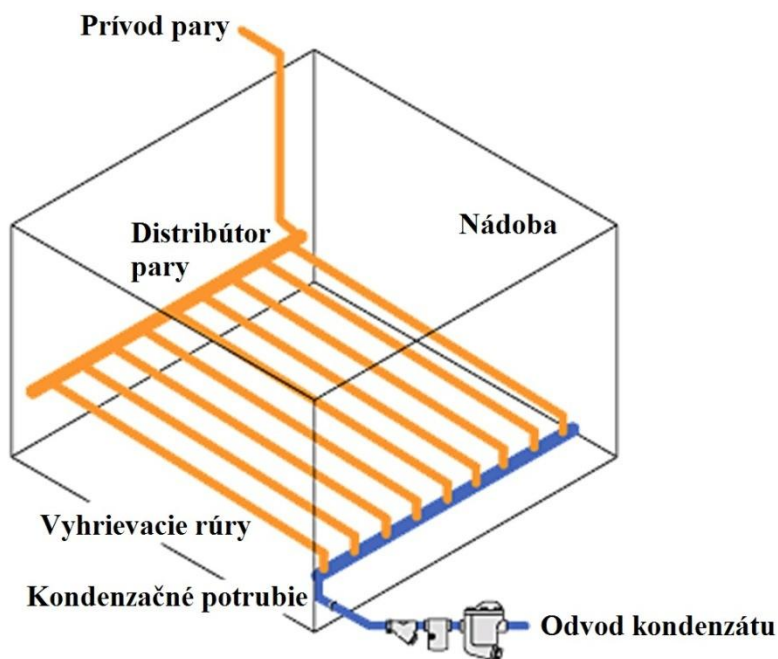


Obr. 2.3. Nádoba vyhrievaná kvapalnou látkou [9]:
 1 – prívod ohrevnej kvapaliny, 2 – odvod ohrevnej kvapaliny,
 3 – odvzdušnenie

- **nádoby s vonkajším alebo vloženým ohrevným hadom**

Pre aplikácie napr. v námornej doprave (doprava ropy, olejov, melasy a pod.) sa používajú nádrže, v ktorých sú umiestnené výhrevné telesá, pričom ohrevným médiom je obyčajne para. Tento ohrev sa robí pre zníženie viskozity týchto tekutín pri plnení alebo vyprázdňovaní nádrží v tankeroch, vo vagónoch alebo v kamiónových návesoch.

Jednou z možností, ako takýto ohrev uskutočniť, je použitie sústav rúr umiestnených nad dnom nádrže (obr. 2.4). Cez hlavný prívod sa privádza para, ktorá je postupne distribuovaná cez horizontálny rozvádzač pary do vyhrievacích rúr. Tu para odovzdá teplo ohrievanej kvapaline, skondenzuje.

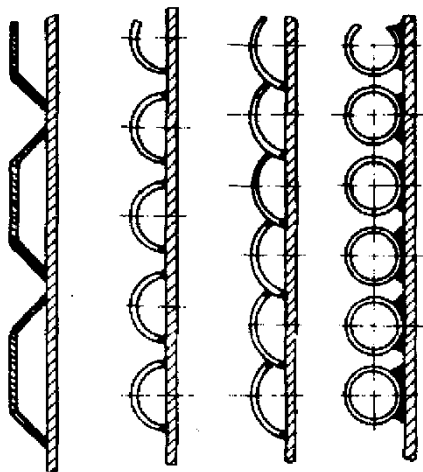


Obr. 2.4. Príklad riešenia ohrevu nádrže parou [4]

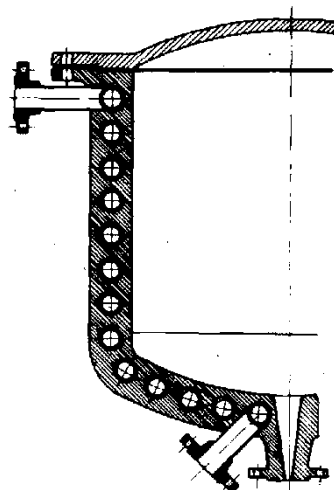
Pre vysoké teploty vyhrievacích kvapalín sa používa plášť nádoby s navinutým ohrevným hadom rôzneho prierezu, ako je zobrazené na obrázku 2.6, alebo vyhrievací had zaliaty do steny nádoby, ako je na obrázku 2.7.



Obr. 2.5. Nádoba s navinutým ohrevným hadom [9]

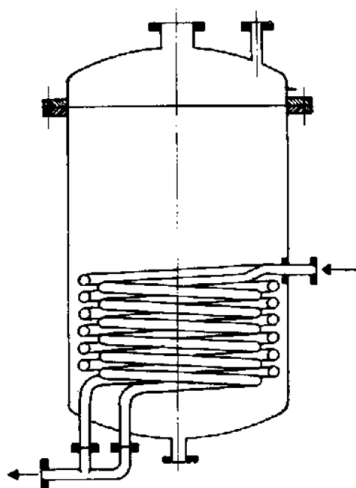


Obr. 2.6. Rez stenou nádoby s navinutými ohrevnými hadmi rôzneho prierezu [9]

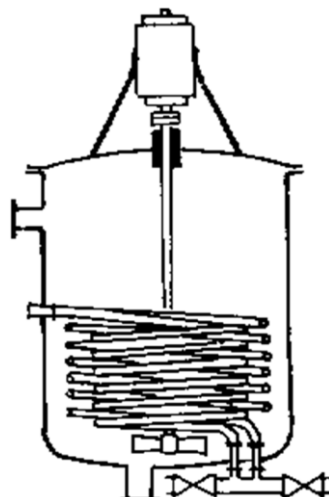


Obr. 2.7. Rez nádobou so zaliatymi ohrievacími hadmi [9]

Nádoby s vloženým hadom sa používajú tam, kde plocha steny pre daný účel nestačí. Valcový had jednochodový až trojchodový, umiestnený v nádobe súosovo, zväčší teplovýmennú plochu a súčasne vytvára vhodnú cirkulačnú priehradku pre miešadlo umiestnené v osi nádoby. Na obrázku 2.8 je zariadenie bez miešadla s dvojchodovým hadom. Na obrázku 2.9 je zobrazené zariadenie s vyhrievacím dvojchodovým hadom a mechanickým miešadlom.



Obr. 2.8. Nádoba s dvojchodovým hadom bez miešadla [9]



Obr. 2.9. Nádoba s dvojchodovým hadom s miešadlom [9]

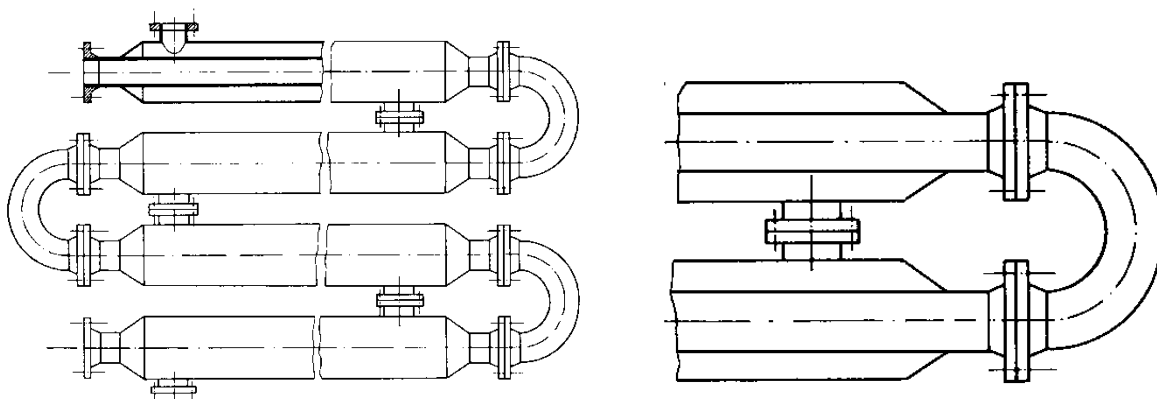
- **výmenníky tepla s plášťovými rúrkami**

Taktiež označované aj ako výmenník tepla typu „rúrka v rúrke“. Tento druh výmenníkov je zhotovený z rúrky opatrenej na vonkajšej strane plášťom. Plášť je rúrka väčšieho prierezu, k vnútornej rúrke je privarená alebo spojená prírubou. Medzi oboma stenami rúrok sa tak vytvorí medzikružný priestor. Vlastnou rúrkou a medzikružným priestorom pretekajú teplovýmenné látky. S takýmto spôsobom ohrevu alebo chladenia sa stretávame tam, kde je potrebné výmenník na jednej ploche čiastočne čistiť. Ľahko prístupnou plochou je vnútorná rúrka.

V praxi sa stretávame často s výmenníkom pozostávajúcim z niekoľkých plášťových rúrok. Rúrky sú usporiadané nad sebou, čím sa zväčší výmenná plocha a niekoľko takých radov vedľa seba umožňuje zväčšiť množstvo ohrievanej (chladenej) látky. Výmenník tepla na obrázkoch 2.10 a 2.11 je prepojený demontovateľnými rúrkovými oblúkmi a plášte sú prepojené hrdlami.



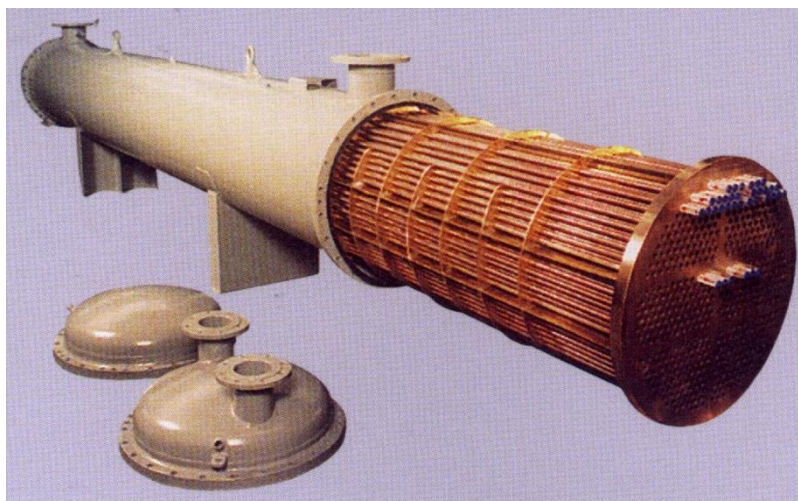
Obr. 2.10. Výmenník tepla typu „rúrka v rúrke“ [9]



Obr. 2.11. Detaily výmenníka tepla typu „rúrka v rúrke“ [9]

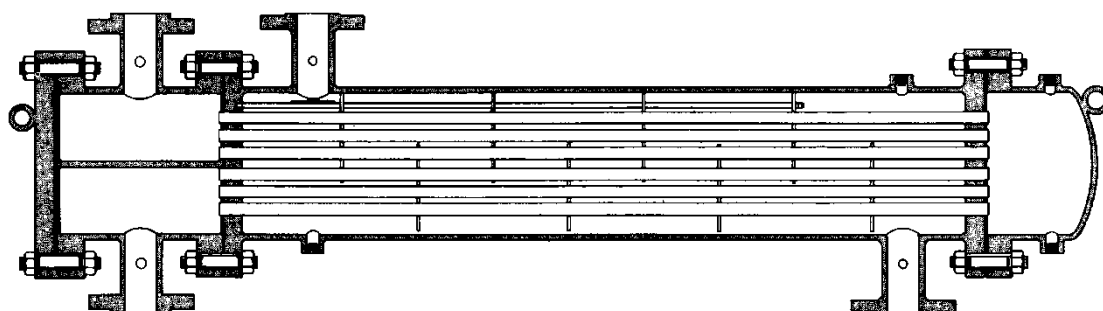
- **výmenníky tepla s rúrkovými zväzkami v plášťoch**

Taktiež označované aj ako „kotlové výmenníky“. Dvojrúrkové výmenníky (výmenníky typu „rúrka v rúrke“) sú dosť náročné na pracovný priestor, a preto sa používajú len pre malé, prípadne stredné výkony. Tento nedostatok sa odstraňuje zvýšením počtu vnútorných rúrok, tým rastie priemer vonkajšej rúrky – plášťa a výmenník prechádza na typ zväzkový.

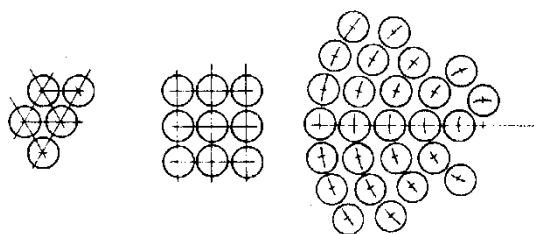


Obr. 2.12. Pohľad na otvorený výmenník tepla s vytiahnutou rúrkovnicou [9]

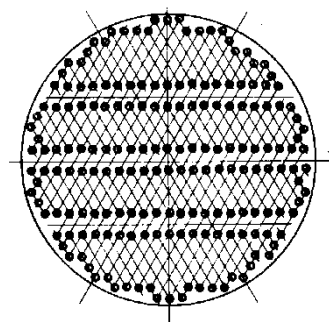
Na obrázku 2.13 je výmenník tepla s pevnou rúrkovnicou – jednoduchý. Rúrky, upevnené v dvoch rovnobežných kruhových čelách – rúrkovniciach – zavalcovaním, zavarením, zaletovaním vo výnimočných prípadoch i pomocou upchávok, možno usporiadať trojuholníkovým, štvorcovým alebo kruhovým spôsobom (obr. 2.14). Najkompaktnejší je spôsob, pri ktorom osi rúrok ležia vo vrcholoch rovnostranných trojuholníkov, ako je zobrazené na obrázku 2.15.



Obr. 2.13. Výmenník tepla s pevnou rúrkovnicou [9]



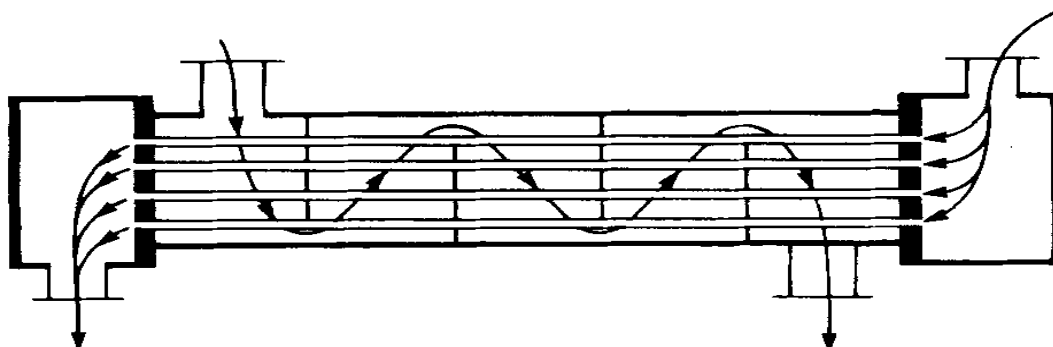
Obr. 2.14. Usporiadanie rúrok v rúrkovnici [9]



Obr. 2.15. Usporiadanie rúrok vo vrcholoch trojuholníkov [9]

Je potrebné pamätať na dostatočnú rýchlosť prúdenia oboch tekutín, aby sa dosiahol intenzívny prenos tepla, a tým aj ekonomická veľkosť teplovýmennickej plochy. Preto na vonkajšej strane rúrok v priestore plášťa, ak tekutina nemení fázu (nekondenzuje),

musí byť usmernená prepážkami, ktoré zabránia vytváraniu mŕtvych kútov v ktorých sa tekutina nepohybuje a zväčšuje sa jej stredná rýchlosť (obr. 2.16). Vzdialenosť prepážok býva obvykle 400 až 500 mm a sú zrezané na 0,6 až 0,7 priemeru plášťa.

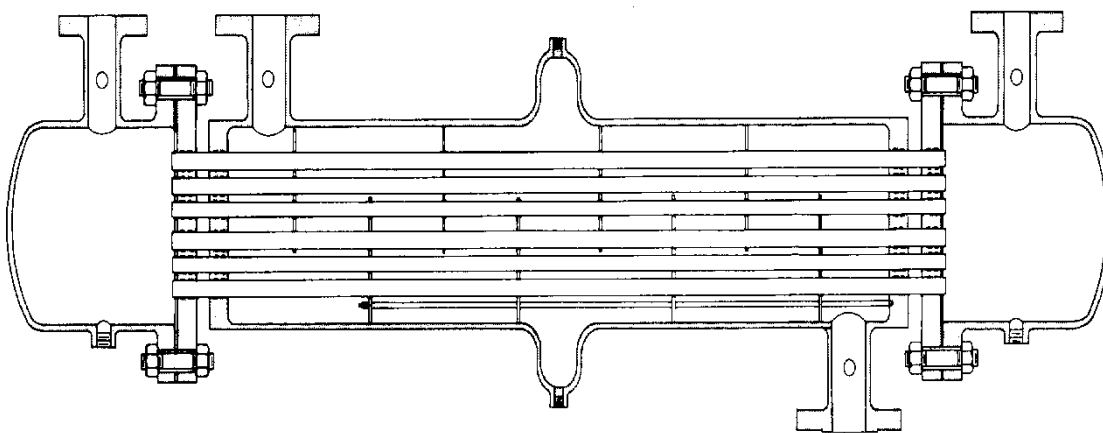


Obr. 2.16. Usmernenie tekutiny v medzirúrkovom priestore pomocou prepážok [9]

Rúrkové výmenníky tepla plášťového typu, najmä v prevedení s dlhými rúrkami, ktoré pracujú pri veľkých rozdieloch teplôt, musia byť zabezpečené proti dilatácii. V dôsledku rôzneho rozťahovania rúrok a plášťa sa rúrky krivia, alebo sa plášť deformuje a rúrky sa vytrhávajú z čiel. Proti tomu možno spraviť nasledovné konštrukčné úpravy.

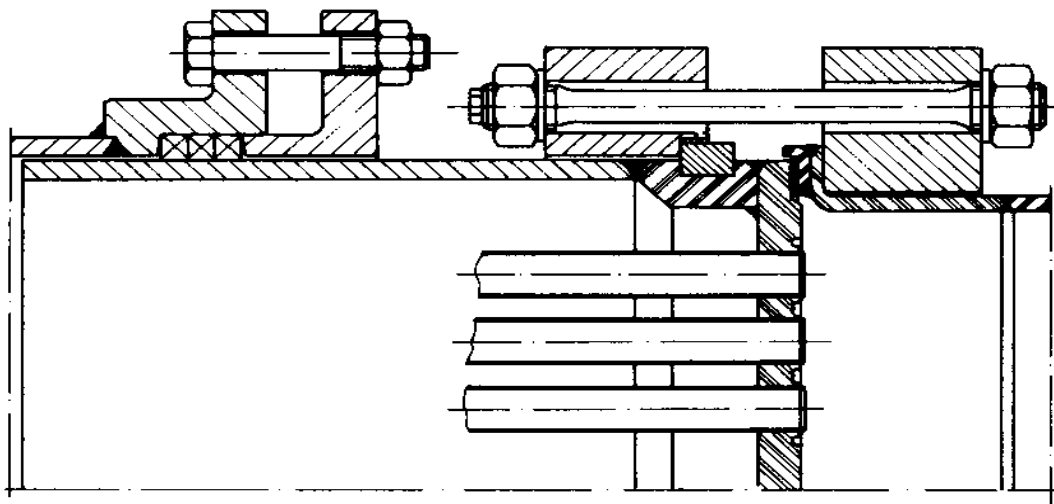
1. dilatácia v plášti

- vlnovcom (kompenzátorom) na plášti výmenníka tepla (obr. 2.17),



Obr. 2.17. Rúrkový výmenník tepla s vlnovcom (kompenzátorom) na plášti [9]

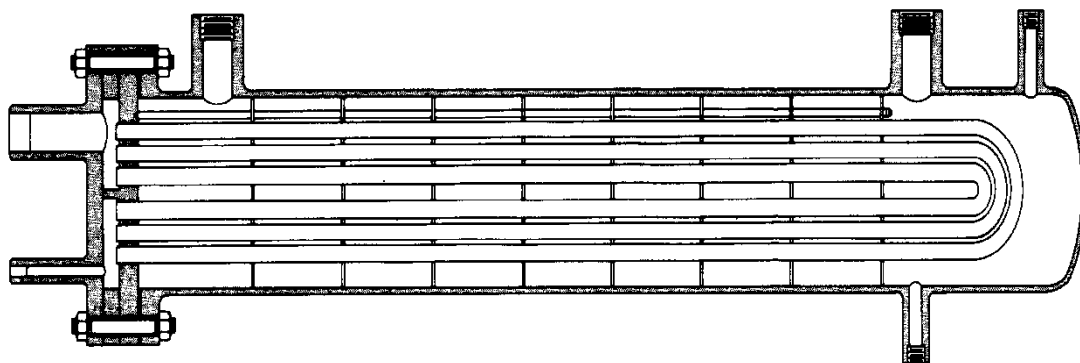
- upchávkovou dilatáciou na plášti výmenníka tepla (obr. 2.18),



Obr. 2.18. Upchávková dilatácia na plášti výmenníka tepla [9]

2. konštrukčná úprava rúrkového zväzku

- výmenník tepla s U-rúrkami (obr. 2.19)



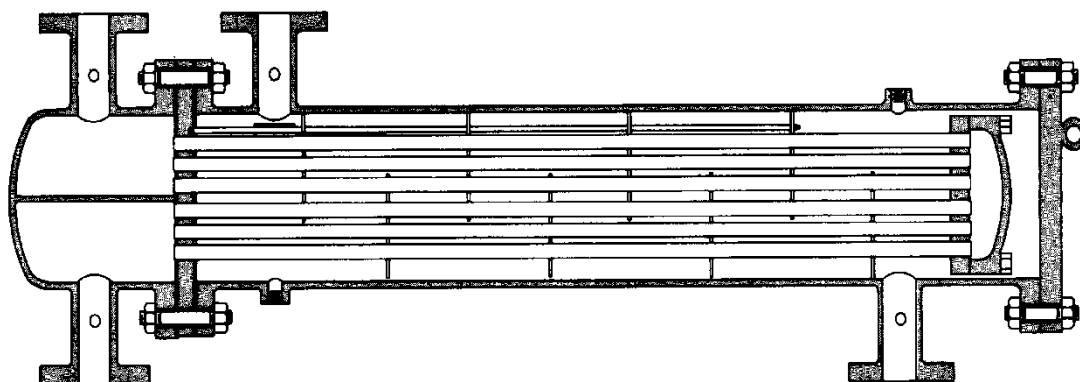
Obr. 2.19. Výmenník tepla s U-rúrkami [9]

Výmenník tepla s U-rúrkami je nádoba pozostávajúca z valcového plášťa, v ktorom je uložený vyberateľný zväzok rúrok v tvare U upevnených v zovretej rúrkovnici. Na usmernenie toku pracovných látok a prípadne i k zamedzeniu priehybu rúrok (pri ležatých výmenníkoch) sú v plášťovom priestore vložené priečne prepážky. Na rozdelenie toku pracovných látok v rúrkovom priestore sú do komory privarené pozdĺžne prepážky. Tieto výmenníky tepla sú minimálne dvojchodové.



Obr. 2.20. Pohľad na rúrkovnicu a rúrky výmenníka tepla s U-rúrkami [9]

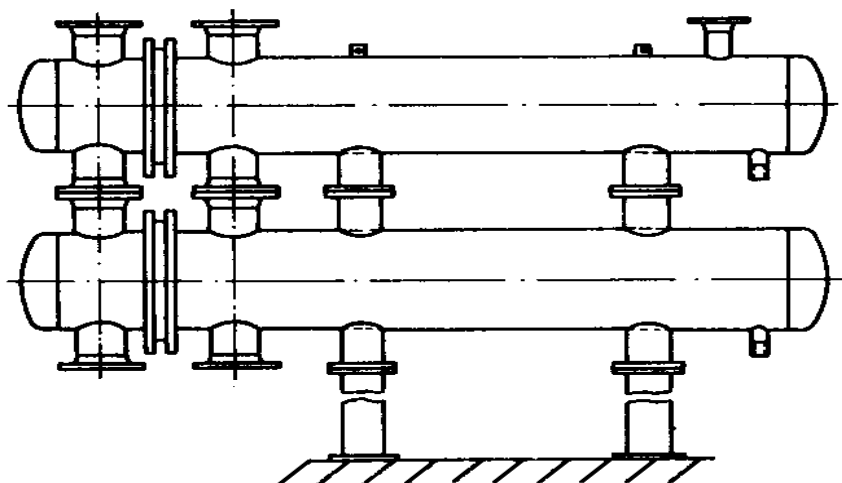
- výmenník tepla s plávajúcou hlavou (obr. 2.21)



Obr. 2.21. Výmenník tepla s plávajúcou hlavou [9]

Výmenník tepla s plávajúcou hlavou je nádoba pozostávajúca z valcového plášťa, v ktorom je uložený vyberateľný zväzok priamych rúrok upevnených v jednej pevnej (zovretej) a jednej voľnej (plávajúcej) rúrkovnici. Na usmernenie toku pracovných látok a prípadne i na zamedzenie priehybu rúrok (pri ležatých výmenníkoch) sú v plášťovom priestore vložené priame prepážky. Na rozdelenie toku pracovných látok v rúrkovom priestore sú do komory privarené pozdĺžne prepážky. Tieto výmenníky tepla sú minimálne dvojchodové.

Na dosiahnutie väčšej teplovýmennej plochy je možné tieto výmenníky tepla zapájať za sebou, ako je zobrazené na obrázku 2.22.

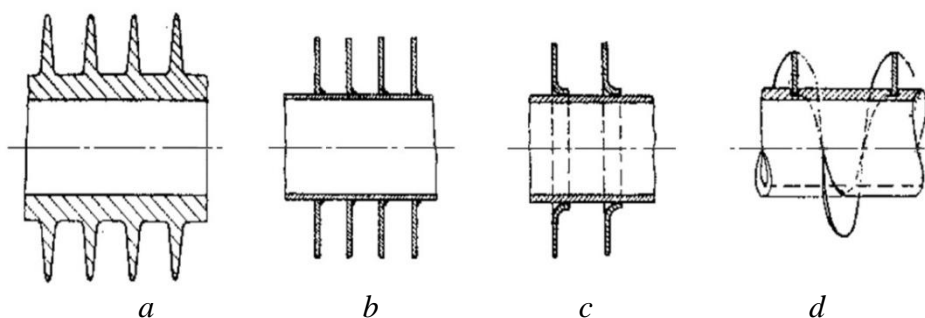


Obr. 2.22. Výmenníky tepla zapojené za sebou [9]

• **rebrované rúrky**

Pri ohrievaní plynov kvapalinami alebo kondenzujúcou vodnou parou bývajú hodnoty súčiniteľa prestupu tepla na strane ohrievanej látky vysoké (niekoľko tisíc $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$), na strane plynu však ťažko prekročíme $50 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ aj pri vysokých rýchlostiach plynu. Preto sa snažíme zväčšiť plochu rúrky na strane malého súčiniteľa prestupu tepla rebrovaním, čím sa zvýši niekoľkonásobne úhrnný súčiniteľ prestupu tepla k . Pomer plochy rebrovaného povrchu rúrky ku rúrke hladkej býva 10 : 1 až 20 : 1.

Z hľadiska použitého materiálu bývajú rebrované rúrky liatinové, ocelové, z hliníka a jeho zliatin a farebných kovov (meď, mosadz). Z hľadiska tvaru rebrá bývajú kruhové, obdĺžnikové, špirálové, pozdĺžne (rebrované s osou rúrky) a iné (obr. 2.23).



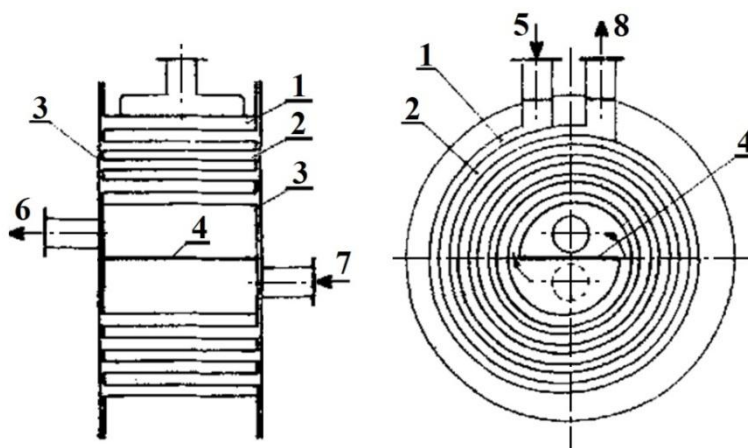
Obr. 2.23 Rôzne typy rúrok s rebrami [9]:

a – rúrka rebrovaná liatinová, b – rúrka s nasunutými, prípadne zatavenými rebrami, c – rúrka s nalisovanými rebrami, d – rúrka so špirálovo vinutými rebrami

• **špirálové výmenníky tepla**

Vo výmenníkoch tepla s rúrkovými zväzkami sa často nedosiahne pri výmene tepla medzi prúdiacimi tekutinami dostatočná rýchlosť vnútri rúrok. Napriek použitiu viacchodového výmenníka (obracanie toku v rúrkach) sa nedosiahne dostatočne veľký súčiniteľ prechodu tepla k .

Pomerne dobré výsledky prestupu tepla pri rovnakých pomeroch prúdenia tekutiny na oboch stranách výhrevnej plochy sa dosiahnu v špirálovom výmenníku tepla (obr. 2.24).



Obr. 2.24. Špirálový výmenník tepla [9]:

1 – prvý špirálový kanál, 2 – druhý špirálový kanál, 3 – čelo výmenníka tepla,
4 – medzistena, 5 – vtok prvého média, 6 – výtok prvého média,
7 – vtok druhého média, 8 – výtok druhého média

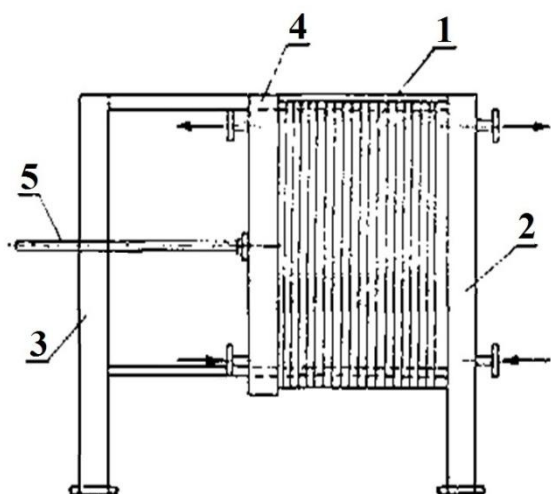
Výmenník sa skladá z dvoch špirál – pozície 1 a 2, vložených do seba a tvoriacich tak kontinuálne kanály obdĺžnikového prierezu (má rovnaký prierez po celej dĺžke), ktorého postranné steny tvoria dve čelá 3. Pri vstupe a výstupe v strede výmenníka sú oba priestory teplovýmenných látok oddelené od seba medzistenou 4. Na obvode je oddelene zapojené hrdlo pre vtok prvej látky 5 a výtok druhej látky 8. Na čelách výmenníka tepla sú umiestnený výtok prvej látky 6 a vtok druhej látky 7. Vytvorenými špirálami prúdia kvapaliny protiprúde. Výhodou tejto konštrukcie je ľahké čistenie.

• **doskové výmenníky tepla**

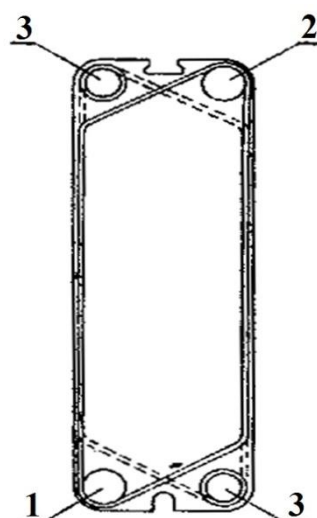
Teplovýmenná plocha doskového výmenníka tepla je vytvorená rovnobežnými, najčastejšie zvislými doskami uloženými v stojane tak, aby v medzidoskovom priestore vznikli štrbinové kanály šírky 3 až 10 mm. Týmito štrbinami prúdia striedavo dve kvapaliny podľa možnosti v protiprúde. Doskové výmenníky je možné charakterizovať takto:

- Najdôležitejším prvkom týchto výmenníkov je pracovná doska, ktorá je lisovaná z 0,6 až 1,75 mm hrubého plechu, dnes najčastejšie z nehrdzavejúcej ocele, niekedy aj z titanu;
- Dosky umožňujú zostavenie výmenníkov s celkovou výmennou plochou až 600 m², s širokým rozsahom prietokov (od 0,1 do 1000 m³ · h⁻¹). Na jednotku výkonu vzhľadom na pomerne vysoký súčiniteľ prestupu tepla potrebujú malú zastavanú plochu;
- Rozsah pracovných teplôt je od –10 °C do 200 °C;
- Celkom uzavretý tok kvapalín, dobrá čistiteľnosť cirkuláciou čistiacich roztokov a prístupnosť pracovnej plochy v dôsledku možnosti rýchleho rozloženia zväzku dosák pre vizuálnu kontrolu, umožňuje prevádzku za hygienických, popriprade i sterilných podmienok.

Na obrázku 2.25 je doskový výmenník tepla, ktorého dosky 1 sú zavesené na nosičoch medzi dvoma nosnými stojanmi 2 a 3 a k sebe stiahnuté závitovým vretenom 5 pomocou dosky 4. Jednotlivé dosky (obr. 2.26) majú na stranách priestory ohraničené tesnením, ktoré striedavo spája vždy dva protiľahlé otvory – pozícia 1 a 2, pričom otvory 3 sú prietokové.



Obr. 2.25. Doskový výmenník tepla [9]:
1 – dosky výmenníka tepla, 2 – zadný stojan,
3 – predný stojan, 4 – pritlačná doska,
5 – sťahovacia skrutka

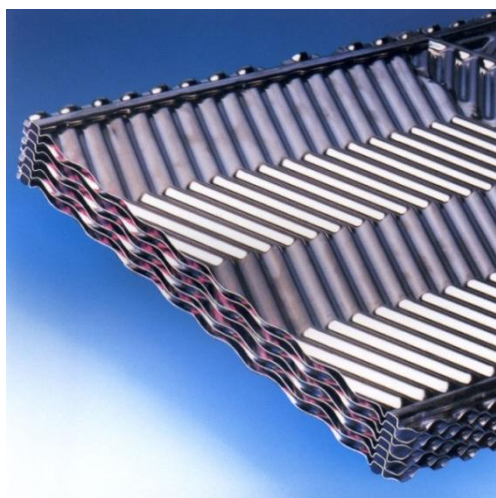


Obr. 2.26. Doska výmenníka tepla [9]:
1 – vstupný otvor, 2 – výstupný otvor,
3 – prietokové otvory

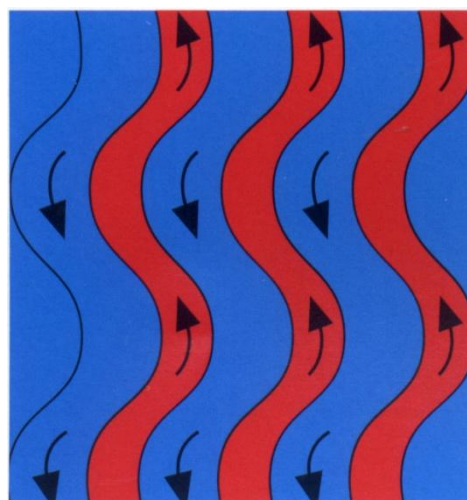


Obr. 2.27. Doska výmenníka tepla s tesnením [9]

Proces výmeny tepla je schematicky znázornený na obrázku 2.29.



Obr. 2.28. Detail dosiek a kanálov doskových výmenníkov tepla [9]



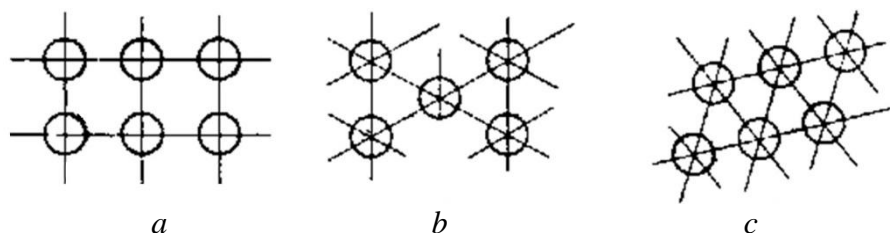
Obr. 2.29. Schéma prúdenia teplého a studeného média v doskových výmenníkoch tepla [9]

• **kondenzátory**

Kondenzátory sú výmenníky tepla, kde prebieha výmena tepla pri kondenzácii pár sledovanej kvapaliny. Chladiacou kvapalinou býva zvyčajne voda, ale môže to byť aj iná kvapalina. Jej skupenstvo sa pritom nemení.

Princíp výpočtu týchto zariadení je podobný ako pri výmenníkoch tepla. Avšak v týchto zariadeniach dochádza k fázovej premene pary na kvapalinu. Preto súčiniteľ prestupu tepla pri blanovej kondenzácii z pary do steny sa musí počítať podľa vzťahov zahrňujúcich aj tento jav. Obsah neskondenzovaných plynov (najčastejšie vzduch) v parách veľmi zhoršuje prestup tepla. Aby sa zabránilo hromadeniu inertných plynov v kondenzátore, a tým ďalšiemu zhoršovaniu prestupu tepla, treba zo všetkých kondenzátorov pravidelne vypúšťať alebo odsávať neskondenzované plyny.

Zlepšenie prestupu tepla sa dosahuje pri ležatých kondenzátoroch vhodným usporiadaním rúrok v radoch nad sebou tak, aby čo najmenej kondenzátu stekalo na nižšie položené rúrky (obr. 2.30).



Obr. 2.30. Usporiadanie rúrok kondenzátorov [9]:
a – za sebou, b – kosoštvorcové, c – „Ginabat“

ZOZNAM SYMBOLOV

k	– úhrnný súčiniteľ prestupu tepla	$(W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1})$
k_o	– úhrnný súčiniteľ prestupu tepla čistého výmenníka tepla	$(W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1})$
k_u	– úhrnný súčiniteľ prestupu tepla výmenníka tepla s usadeninami	$(W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1})$
α_1	– súčiniteľ prestupu tepla z tekutiny na stenu	$(W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1})$
α_2	– súčiniteľ prestupu tepla zo steny do tekutiny	$(W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1})$
δ_u	– súčiniteľ tepelnej vodivosti usadenín	$(W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1})$
λ_u	– hrúbka usadenín	(m)