

Kapitola	Názov	Strana
7.2	Výmenníky	1
7.2.1	Kondenzátor	3
7.2.2	Výparník	4
7.2.3	Odmrazovanie výparníkov	13
7.2.4	Výmenník na vnútornú výmenu tepla	15

10 Výmenníky tepla

Tepelné procesy, ako zahrievanie, chladenie, kondenzácia, odparovanie sa riadia zákonmi prenosu tepla. Požadujeme, aby prechod tepla bol čo najintenzívnejší. Prechod tepla má veľký význam najmä z toho dôvodu, že energia na vykurovanie a chladenie predstavuje často najväčšiu položku zo všetkých spotrebovaných energií. Rozlišujeme tri spôsoby prechodu tepla:

- *vedením (kondukcia)*
- *prúdením (konvekcia)*
- *sálaním (radiácia)*

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

Prechod tepla môže byť:

- *ustálený (stacionárny)*
- *neustálený (nestacionárny)*

Ustálený prechod tepla je charakterizovaný tým, že na rôznych miestach teplovýmennnej plochy môžu byť teploty rozdielne, ale v priebehu času sa nemenia. Taký dej prebieha pri chladení v kontinuálne pracujúcich výmenníkoch pri prechode tepla za účasti plyných alebo kvapalných látok.

Neustálený prechod tepla sa vyskytuje napríklad v periodickej prevádzke tepelných čerpadiel pri ohreve, chladení a pod. Tento typ prechodu tepla sa vyznačuje tým, že teploty v ktoromkoľvek mieste zúčastnenej sústavy sa v priebehu času menia.

Výmenníky tepla slúžia na sprostredkovanie prechodu 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, ...), typu teplovýmenného povrchu alebo spôsobu konštrukčného riešenia (napr. rúrkový ohrievač, lamelový chladič) alebo charakteru prechodu tepla (napr. rekuperátor, regenerátor). Výmenníky tepla môžeme rozdeliť na:

- kontaktné výmenníky, pri ktorých prechod tepla prebieha pri bezprostrednom styku teplovýmenných látok,
- povrchové výmenníky (rekuperátory), vyznačujúce sa tým, že pracovné látky, medzi ktorými sa odovzdáva teplo, oddeľuje pevná stena tvoriaca teplovýmenný povrch,
- regeneračné výmenníky (regenerátory), pri ktorých je prechod tepla medzi dvoma hlavnými látkami sprostredkovaný treťou teplotou látkou (prostredníkom), ktorá akumuluje teplo prijaté od teplejšej látky a odovzdáva ho chladnejšej.

V chladiacej technike ide o dvojlátkové výmenníky tepla – rekuperátory - určené na prevod tepelnej energie z teploty vyššej na teplotu nižšiu. V chladiacej technike sa stretávame s tromi základnými druhmi výmenníkov tepla, označovaných ako:

- Kondenzátor,
- Výparník,
- Ochladzovače.

Sú príkladom kombinovaného zdieľania tepla, kde medzi kvapalinou a vnútorným povrchom rúrky nastáva zdieľanie tepla prúdením, stenou rúrky sa teplo zdieľa vedením a medzi vonkajším povrchom rúrky a prostredím sa teplo zdieľa opäť prúdením. Snaha o vyššiu intenzifikáciu prechodu 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.

Tepelné trubice sa používajú hladkým alebo rebrovaným vonkajším povrchom. Intenzívny prechod tepla sprostredkúva chladivo, ktoré mení svoje skupenstvo. Jeho voľba sa okrem iného riadi teplotami, pri ktorých má výmenník pracovať. Na strane s menším súčiniteľom prechodu 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 rebriera so základnou rúrkou.

Najväčší vývoj v poslednom období zaznamenali mikrokanálové výmenníky, ktoré umožňujú významne zmenšiť rozmery výmenníka a znížiť náplň chladiva.

Z hľadiska prívodu tepla z ohrievajúcej látky na ohrievanú, rozoznávame ohrev:

- priamy
- nepriamy

Pri priamom ohreve nie sú obe tekutiny od seba oddelené tuhú stenou. Pri nepriamom ohreve sú obe tekutiny od seba oddelené tuhú stenou. To je prípad výmenníkov chladiaceho okruhu.

Priamy ohrev - Prechod tepla medzi látkami rovnakého skupenstva

Tento dej možno pokladať za zmiešavanie látok ak platí zákon zachovania energie, takže do systému vnesené teploty dvoch alebo viac látok sa rovnajú teplu celkovému. Ak je každé z tepiel $Q_1 \dots Q_n$ vyjadrené rovnicou

$$Q = m \cdot c \cdot T$$

kde	Q	je	množstvo tepla	[J],
	m	-	množstvo látky	[kg],
	c	-	špecifická tepelná kapacita látky	[J.kg ⁻¹ .K ⁻¹],
	T	-	teplota látky	[K].

potom môžeme teplotu zmesi T_z vypočítať z rovnice

$$T_z = \frac{m_1 \cdot c_1 \cdot T_1 + m_2 \cdot c_2 \cdot T_2 + \dots + m_n \cdot c_n \cdot T_n}{m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2 + \dots + m_n \cdot c_n}$$

Nepriamy ohrev

V prípade nepriameho ohrevu sú obe tekutiny od seba oddelené tuhú stenou - teplovýmennou plochou výmenníka. Sú uvedené ďalej základné vzťahy pre výpočet takých zariadení na výmenu tepla, kde je sledovaná kvapalina ohrievaná alebo chladená bez toho, aby menila svoje skupenstvo, pričom prechod tepla je ustálený (stacionárny). Zvyčajným cieľom výpočtu výmenníkov tepla je určenie teplovýmennej plochy (počtu rúrok, dosák a pod). Tento údaj ďalej slúži ako podklad pre konštrukčné usporiadanie výmenníka. Plochu vypočítame zo vzťahu: Množstvo tepla Q , ktoré prejde za čas T plochou S do hrúbky steny d pri rozdielnej teplote ΔT :

$$S = \frac{Q}{k \cdot \Delta T_s}$$

kde	S	je	teplovýmenná plocha	[m ²],
	Q	-	tepelný tok	[W],
	k	-	úhrnný súčiniteľ prechodu tepla	[W.m ⁻² .K ⁻¹] (vzťah 7 strana 4),
	ΔT_s	-	stredná teplotná diferencia	[K].

Ďalším častým prípadom výpočtu je určenie tepelného toku Q pre výmenník so známou teplovýmennou plochou S , čo vypočítame tiež pomocou vzťahu pre výpočet plochy S .

Vzťahy s konštantným ΔT medzi látkami platia pre prechod tepla malou plochou. Ak uvažujeme celú plochu výmenníka, potom sa tento rozdiel mení od jedného konca výmenníka ku druhému. Pri idealizácii, že k =konšt ΔT_{ln} sa počíta ako logaritmický priemer vstupných a výstupných teplotných rozdielov oboch látok.

Stredná aritmetická teplotná diferenciacia ΔT_{ar} je definovaná vzťahom

$$\Delta T_{ar} = \frac{1}{2} \cdot (\Delta T_1 + \Delta T_2)$$

Stredná logaritmická teplotná diferenciacia ΔT_{ln} je definovaná vzťahom

$$\Delta T_{ln} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

V uvedených vzťahoch

ΔT_2 je teplotná diferenciacia na výstupe [K],
 ΔT_1 - teplotná diferenciacia na vstupe [K].

Príklad

Stredný teplotný rozdiel

V chladiacom boxe je teplota $+6^\circ\text{C}$. Teplota vzduchu prechodom cez výparník sa zníži o 6°C . Vypočítajme logaritmický priemer ak výparná teplota je $+2^\circ\text{C}$.

Riešenie

Teplotné rozdiely na vstupe a výstupe sú:

$$\Delta T_1 = +6 - (-2) = 8\text{K}$$

$$\Delta T_2 = 0 - (-2) = 2\text{K}$$

Stredná logaritmická teplotná diferenciacia ΔT_{ln} je definovaná vzťahom

$$\Delta T_{ln} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} = \frac{8 - 2}{\ln \frac{8}{2}} = 4.33\text{K}$$

Tepelný odpor a úhrnný súčiniteľ prechodu tepla

Pri prechode tepla môžeme uvádzať tepelný odpor, súčiniteľ prechodu tepla a tepelnú vodivosť. Tepelný odpor je analogický elektrickému odporu a je definovaný analogicky Ohmovému zákonu pre elektrické obvody:

Ohmov zákon: Elektrický odpor = elektrický potenciál / prúd

Tepelný odpor R je definovaný: $R = \text{teplotný rozdiel} / \text{tepelný tok}$

Celkový tepelný odpor:

$$R = \frac{\Delta T_{ln}}{\dot{Q}} = \frac{1}{k \cdot S}$$

Týmto spôsobom môžeme zadefinovať tepelné odpory medzi dvomi látkami a oddeľujúcou stenou podľa obrázku pre prechod tepla medzi látkou a stenou, cez tri vrstvy steny a medzi stenou a látkou:

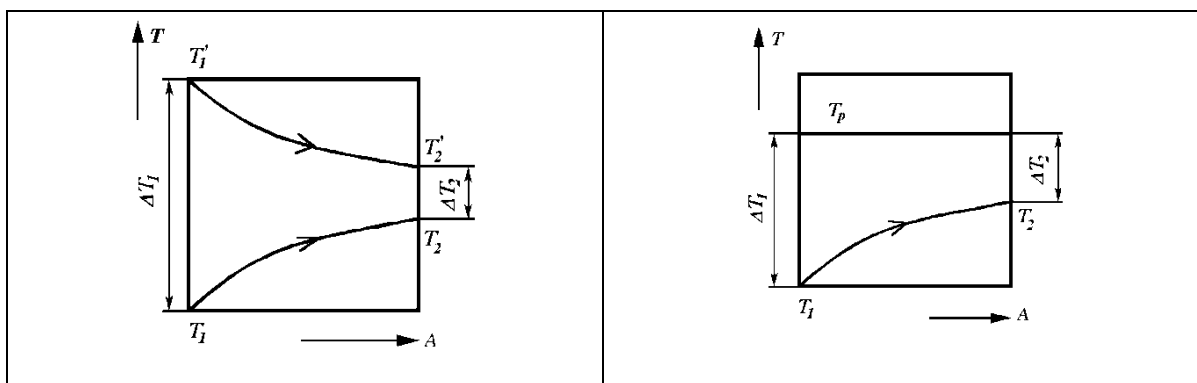
	<table border="1"> <tr><td>ΔT_1</td></tr> <tr><td>ΔT_{d1}</td></tr> <tr><td>ΔT_{d2}</td></tr> <tr><td>ΔT_{d3}</td></tr> <tr><td>ΔT_2</td></tr> </table>	ΔT_1	ΔT_{d1}	ΔT_{d2}	ΔT_{d3}	ΔT_2	<p>$\Delta T_{ln} = \Delta T_1 + \Delta T_{d1} + \Delta T_{d2} + \Delta T_{d3} + \Delta T_2$ Keďže tepelný tok je konštantný cez všetky vrstvy potom</p> <p>$R = R_1 + R_{d1} + R_{d2} + R_{d3} + R_2$</p> <p>$\frac{1}{k \cdot S} = \frac{1}{\alpha_1 \cdot S} + \frac{d_1}{\lambda_1 \cdot S} + \frac{d_2}{\lambda_2 \cdot S} + \frac{d_3}{\lambda_3 \cdot S} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot S}$</p>
ΔT_1							
ΔT_{d1}							
ΔT_{d2}							
ΔT_{d3}							
ΔT_2							

Určiť tepelný tok nebýva ťažké, zvyčajne ho zistíme zo základnej tepelnej bilancie vyjadrenej vzťahom

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1)$$

kde	\dot{m}	je	hmotnostný tok	[kg.s ⁻¹],
	c_p	-	špecifická tepelná kapacita	[J.kg ⁻¹ .K ⁻¹],
	T_1	-	nižšia teplota	[K],
	T_2	-	vyššia teplota	[K].

Stredná teplotná diferencia ΔT_S v rovnici môže byť definovaná niekoľkými spôsobmi. Najpoužívanejšia je aritmetická teplotná diferencia ΔT_{ar} a logaritická teplotná diferencia ΔT_{ln} .



Obrázky Priebeg teplôt pozdĺž teplovýmennej plochy jednoduchého výmenníka. Naľavo je znázornené prúdenie po oboch stranách plochy výmenníka pri suprudnom usporiadaní o vstupných teplotách T_1 ; T_1' a výstupných teplotách T_2 ; T_2' . Napravo je tekutina ohrievaná kondenzujúcim chladivom teplot T_p .

Pre uvedené výmenníky platí tepelná bilancia oboch tekutín v tvare:

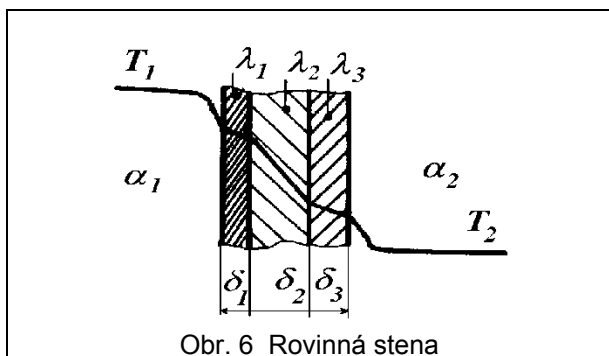
$$\dot{Q} = \dot{m}_1 \cdot \Delta h_1 = \dot{m}_2 \cdot \Delta h_2$$

Pričom $\Delta h = \bar{c}_p \cdot \Delta t$ pri látkach, ktoré nemenia skupenstvo a $\Delta h = l_v$ pri látkach, ktoré menia skupenstvo, kde l_v je skupenské teplo látkovej premeny (niekedy označované tiež písmenom r).

Z vyššie uvedených vzťahov vyplýva, že výkon výmenníka priamo úmerne ovplyvňuje rozdiel teplôt medzi obidvomi látkami, ktorý je v prevádzke ovplyvňovaný čistotou výmenníkov, správnu dávkou chladiva a podobne. Pri návrhu výmenníka tento teplotný rozdiel rozhoduje o veľkosti plochy výmenníka. Z uvedených vzťahov sa dá vyjadriť vplyv zvyšovania a znižovania tepelného toku (výkonu výmenníka) od teplotnej diferencie ΔT :

$$\Delta T = \frac{\dot{Q}}{S \cdot k} \quad \Delta T = \frac{\dot{Q}}{m \cdot c_p}$$

Zo vzťahov vyplýva, ako ΔT závisí od jednotlivých parametrov, čo je bližšie hodnotené v kapitole 5.1.



Obr. 6 Rovinná stena

Poslednou veličinou, ktorú potrebujeme poznať pre výpočet teplovýmennej plochy je úhrnný súčiniteľ prechodu tepla k . Pre prípad rovinatej steny na obrázku je definovaný vzťahom

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (7)$$

kde k je úhrnný súčiniteľ prechodu tepla [W.m⁻².K⁻¹],

α_1	-	súčiniteľ prechodu tepla z tekutiny na stenu	[W.m ⁻² .K ⁻¹],
δ_i	-	hrúbka i-tej steny	[m],
λ_i	-	tepelná vodivosť i-tej steny	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹],
α_2	-	súčiniteľ prechodu tepla zo steny do tekutiny	[W.m ⁻² .K ⁻¹].

Pri zakrivených plochách musí byť jednoznačne udané, na ktorý povrch sa súčiniteľ prechodu tepla vzťahuje.

Súčiniteľ prechodu tepla je prevrátená hodnota súčtu jednotlivých tepelných odporov, pričom odporom jednoduchej alebo zloženej rovinnej steny je výraz $\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}$.

Výpočet veľkosti teplovýmennej plochy, prípadne množstva pretekajúceho tepla danou plochou sa v podstate redukuje na spoľahlivé určenie koeficientov prechodu tepla, ktoré sa zisťujú meraním.

Z vyššie uvedených vzťahov vyplýva, že výkon výmenníka priamo úmerne ovplyvňuje rozdiel teplôt medzi obidvomi látkami, ktorý je v prevádzke ovplyvňovaný čistotou výmenníkov, správnu dávkou chladiva a podobne. Pri návrhu výmenníka tento teplotný rozdiel rozhoduje o veľkosti plochy výmenníka.

Vplyv nečistôt na prestup tepla stenou výmenníka

Úhrnný súčiniteľ prechodu 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 antikoroziu 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 oderu 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

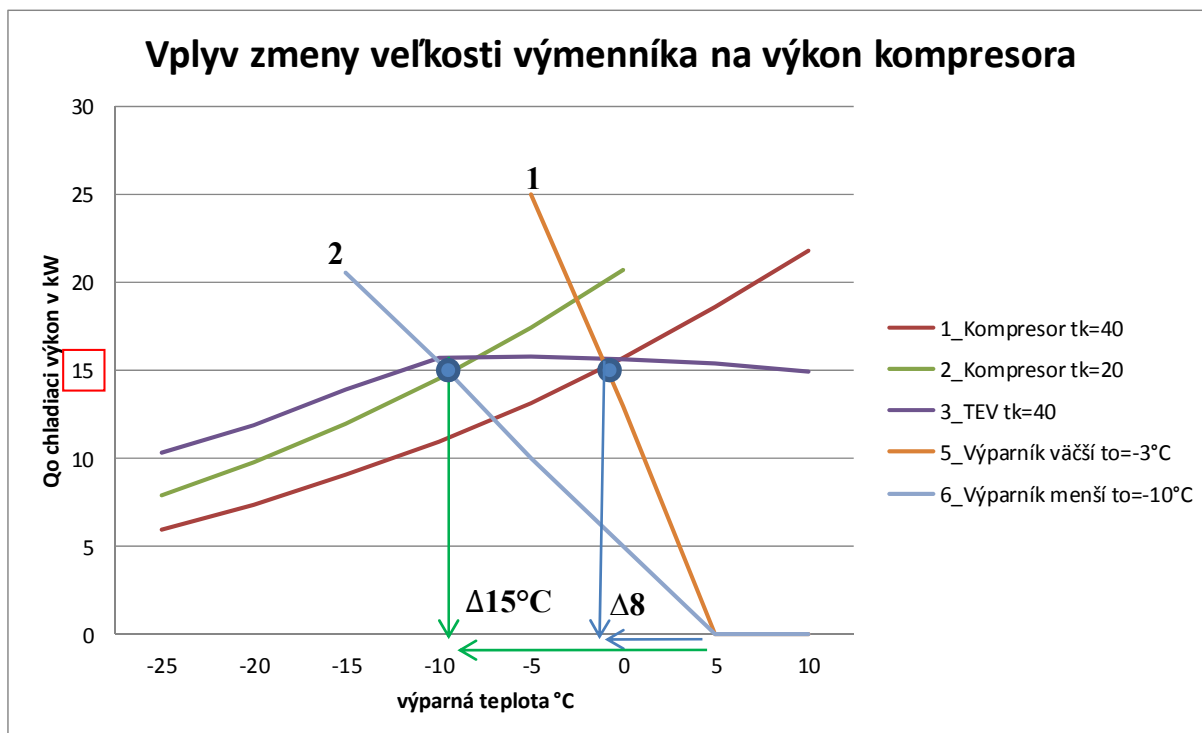
$$\frac{1}{k_u} = \frac{1}{k_o} + \frac{\delta_u}{\lambda_u}$$

kde λ_u je súčiniteľ tepelnej vodivosti usadenín [W.m⁻¹.K⁻¹],
 δ_u - hrúbka usadenín [m].

Úhrnný súčiniteľ prechodu tepla k , vypočítaný za predpokladu znečistenej teplovýmennej plochy, vykáže nižšie hodnoty. Zo vzťahu: $Q = S \cdot k \cdot \Delta T_s$ vyplýva, že pri danej ploche výmenníka S výkon VT Q bude sa znižovať, a vzhľadom na nebude môcť byť kompenzovaný zväčšujúcou sa zmenou strednej teplotnej diferencie ΔT_s .

Priradenie výmenníka ku kompresoru

Správna voľba výmenníka tepla ovplyvňuje prevádzkové teploty sústavy. Vhodný výparník udržiava vyparovaciu teplotu chladiva na čo najvyššej hodnote výhodnú pre chladiaci výkon a správny kondenzátor naopak umožní používať zariadenie s nízkou kondenzačnou teplotou, čo tiež znižuje energetickú náročnosť systému. Zmena vyparovacej teploty o 1 K obvykle zmení energetickú náročnosť okruhu vyjadrenú chladiacim faktorom o 2-4%. S poklesom teploty klesá i chladiaci faktor. Zmena kondenzačnej teploty o 1 K vyvolá rozdiel chladiaceho výkonu o 2 – 4%. S poklesom kondenzačnej teploty chladiaci faktor stúpa. Z uvedených hodnôt vyplýva snaha o dosiahnutie čo najvyššej vyparovacej teploty pri čo najnižšej teplote kondenzácie. Z hľadiska výmenníka tepla sú rozhodujúce dva činitele – veľkosť tepla výmennej plochy a hydrodynamické vlastnosti tepla výmennej látky používanej pre odvod kondenzačného tepla – vzduchu, vody, glykolu apod. obvykle sa vychádza z údajov výrobcu výmenníka tepla pre určité dané podmienky.



Obrázok Vplyv zmeny veľkosti výparníka (1,2) na chladiaci výkon kompresora ZB45KCE-TFD, TEV TX3-S29 a výparnú teplotu (bližšie pozri kapitolu 5.1)

Zmena výkonu kompresora pri zväčšení alebo zmenšení tepla výmennej plochy výparníka

Na obrázku je ukázaná zmena výkonu kompresora pri zväčšení alebo zmenšení tepla výmennej plochy výparníka – rozdiel je významný. Porovnané sú dva výmenníky väčší (1) a menší (2), čo sa prejavilo na zväčšenom rozdieli teploty média vstupujúceho do menšieho výparníka a výparnej teploty z 8 na 15 °C. Pre menší výparník s väčším Δt pri výparnej teplote - 10 °C stúpol potrebný výkon kompresora pre rovnaký chladiaci výkon z 11 na 15 kW a je tak o 25 % väčší. Výkon TEV bol dostatočný pre obe výparné teploty.

Je zrejmé, že vplyv správnej voľby veľkosti výparníka je veľmi zreteľný. Z obrázku vyplýva a je nutné si to uvedomiť, že pre dosiahnutie požadovaného chladiaceho výkonu 15 kW je pri voľbe veľkého výparníka použitý menší kompresor v našom príklade až o 25 % – čiže úspory sú v nadobúdacej hodnote kompresora pri vyšších nákladoch na výparník. V úsporách energie pri väčšom výparníku sa následne prejavujú i nižšie prevádzkové náklady.

Takáto úvaha platí i pri porovnávaní kondenzátorov a kondenzačných teplôt, čo je zaujímavé najmä pre tepelné čerpadlá. Na kondenzačnej strane vplyv veľkosti výmenníka – kondenzátora je významný podobne. Tu sa však už nerozhoduje o veľkosti kompresora tak, ako je tomu na strane výparníka, ak výparná teplota a objemová chladivosť sa nemení.

Energetická efektívnosť

Je vyjadrovaná zmenou chladiaceho faktora, ktorý je vyšší pri väčšom výmenníku s menším Δt , rozdielom teploty média vstupujúceho do výmenníka a teploty média vo výmenníku. Pri menšom Δt na výmenníkoch (výparníku, kondenzátore) sa výparná a kondenzačná teplota k sebe približujú, znižuje sa tlakový pomer, ktorý kompresor prekonáva a tým sa znižuje jeho spotreba energie.

Výber výmenníkov chladiacich zariadení

Keď je zistená spotreba chladu, a tým chladiaci výkon nejakého zariadenia a vyjasnená jeho technická koncepcia (*schéma zapojení*), môže sa začať s výberom komponentov. Po výbere kompresora je potrebné vybrať výmenníky.

- kondenzačná jednotka, respektíve kompresor, kondenzátor ...
- výparník a príslušenstvo

Je treba rešpektovať výrobcami udávané rozsahy použitia a dodacie podmienky v ich technických podkladoch! Aby mohol byť pre daný výkon zvolený kompresor alebo zvolená kondenzačná jednotka, musia byť známe nasledujúce prevádzkové parametre:

- vyparovacia teplota t_o
- kondenzačná teplota t_k , prípadne teplota okolia t_e
- prehriatie nasávaných par Δt_{op} , respektíve teplota nasávaných pár t_{op}
- podchladenie kvapalného chladiva Δt_{kd} .

Optimálne riešenie sa dostane len vtedy, keď sa vyberie kompresor pre reálne pracovné podmienky.

Voľba kondenzačnej teploty t_k

Pre vzduchom chladené kondenzátory platí: $t_k = t_e + \delta t$. Rozdiel $\delta t = TD$ je závislý na t_o a na druhu chladiva. Výrobcom dimenzujú všeobecne kondenzátory pre $\delta t = 15K$. V praxi sa počíta s $\delta t = 8$ až $15 K$. Menšie hodnoty platia pre nízke vyparovacie teploty t_o . Pre vodou chladené kondenzátory platí približne:

- prevádzka s chladiacej veže: $t_k = +40^\circ C$
- chladenie čerstvou vodou: $t_k = +30^\circ C$.

Voľba vyparovacej teploty t_o

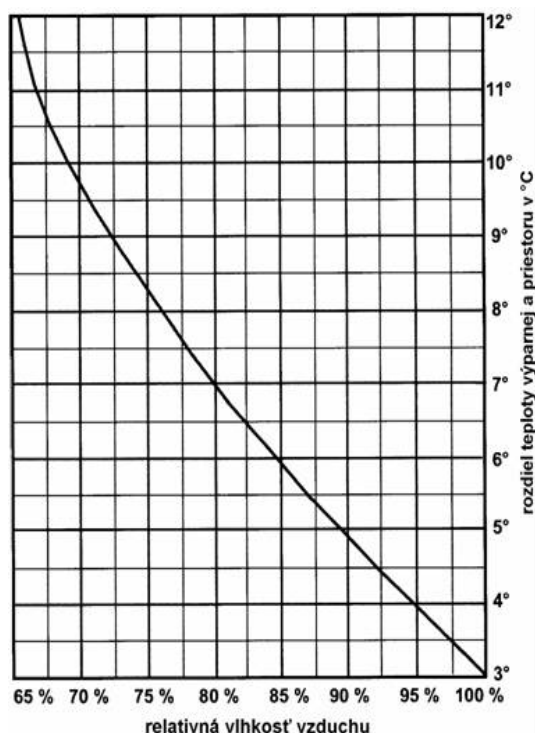
Skôr praktizované riešenie: vyparovacia teplota pre normálne chladiarne $t_o = -10^\circ C$ a $t_o = -30^\circ C$ pre mraziarne by malo byť s konečnou platnosťou patriť minulosti. Je treba si uvedomiť nasledujúce priemerné poklesy výkonu v závislosti na zmene rozdielu teplôt t_o a t_k :

- pokles t_o o $1 K$ → pokles Q_o o $2-5 \%$
- rast t_k o $1 K$ → pokles Q_o o $2-4 \%$

Voľba $t_o = t_p - \delta t$ je závislá od druhu chladeného tovaru. Pritom platí zásada:

veľké $\delta t = t_d$ → malá plocha výparníka → nízka relatívna vlhkosť vzduchu
malé $\delta t = TD$ → veľká plocha výparníka → vysoká relatívna vlhkosť vzduchu

Dosiahnuteľné relatívne vlhkosti φ v závislosti na $\delta t = TD$.



Obrázok Relatívna vlhkosť vzduchu ϕ v závislosti na δt

Pri voľbe δt sa dá vyjsť z nasledujúcich hodnôt pre chladiarne a mraziarne s ventilátorovými chladičmi vzduchu:

- tovar vo fľaškách a konzervách: $\delta t = 10$ K
- potraviny: $\delta t = 8$ K
- mäsové výrobky: $\delta t = 7$ až 8 K
- ovocie a zelenina: $\delta t = 4$ až 6 K.

Teplotný rozdiel $\delta t = TD < 6$ K je dosiahnutý len s elektronickými expanznými ventilmi.

Typy a konštrukcie výmenníkov tepla

Konštrukcie výmenníkov tepla musia vyhovovať mnohostranným požiadavkám prevádzkovej technológie, dielenského spracovania a ekonómie.

Medzi hlavné požiadavky smerom na materiály, spracovanie a ekonomiku treba radiť veľký súčiniteľ prechodu tepla, malý prietokový odpor, dobrú možnosť čistenia vyhrievacej plochy, odolnosť proti korózii pri rozličných látkach, prispôbenie konštrukcie a hmotnosti, ...

Pri klasifikácii a rozdelení výmenníkov tepla z hľadiska konštrukcie berieme do úvahy geometrické znaky polotovarov, z ktorých sa vyrábajú teplovýmenné plochy. Najstarším a doteraz najrozšírenejším konštrukčným prvkom sú *rúrky*, ktoré majú priemer od niekoľko milimetrov až do niekoľko desiatok milimetrov. Druhým polotovarom, používaným ako konštrukčný prvok pre teplovýmenné plochy, je *plech* rôznym spôsobom spracovaný. 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 musíme vždy uvážiť, či predpokladaný typ a konštrukcia je pre príslušné prevádzkové podmienky vôbec vhodný a použiteľný. Prevádzkovými podmienkami rozumieme najmä:

- *prevádzkový tlak*
- *prevádzková teplota*,
- *hmotnostný prietok*,
- *prístupnosť teplovýmennnej plochy* pre čistenie a kontrolu, ...
- *sanácia a hygiena* - teplovýmennnej pracovnej plochy.

Povrchové výmenníky (rekuperátory)

Vyznačujúce sa tým, že pracovné látky, medzi ktorými sa odovzdáva teplo, oddeľuje pevná stena elementov tvoriacich teplovýmenný povrch. Sem patria nádoby s vloženým hadom, s vyhrievaným plášťom, kotlové výmenníky s rúrkovnicami, rebrované rúrkovnice, doskové, mikrokanálové a pod.

Rebrované rúrky

Výmenníky

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.

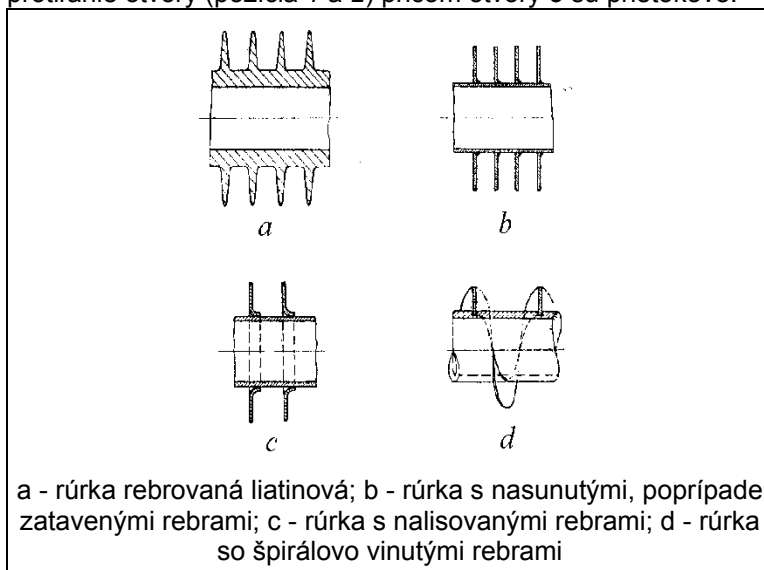
Doskové výmenníky tepla

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. Týmto štrbinami prúdia striedavo dve kvapaliny podľa možnosti v protiprúde. Ak porovnáme doskové výmenníky s rúrkovými, môžeme ich 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 $600 m^2$, s prietokom do $1000 m^3 \cdot h^{-1}$). Na jednotku výkonu vzhľadom na vysoký súčiniteľ prechodu tepla potrebujú malú plochu.
- Rozsah pracovných teplôt je od $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ do $200 \text{ }^\circ\text{C}$.
- 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, poprípade i sterilných podmienok.

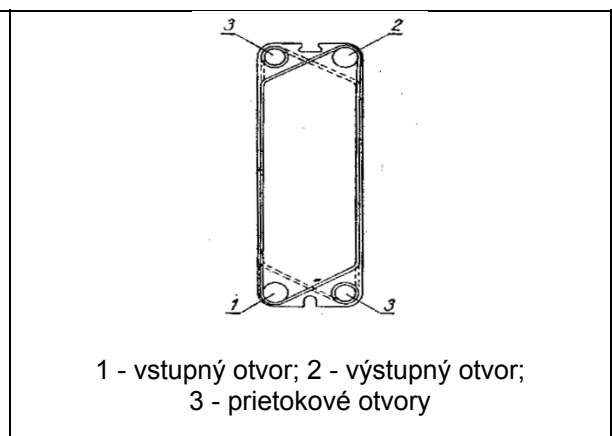
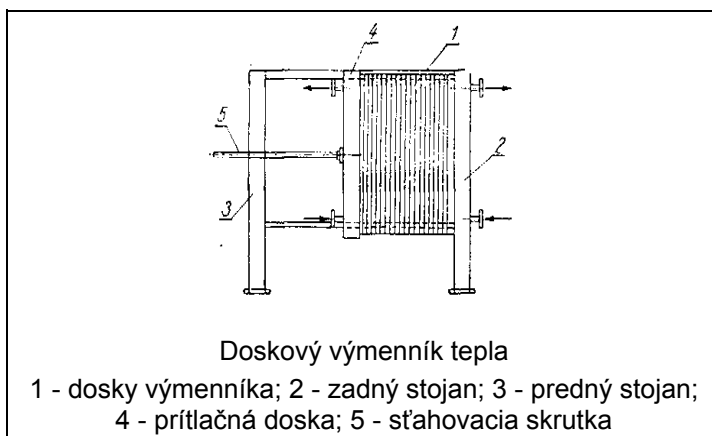
Na obrázku je doskový výmenník tepla, ktorého dosky 1 sú zavesené na nosičoch medzi dvoma nosnými stojanmi 2 a 3 a k sebe stiahnuté závitovým vretenom 5 pomocou dosky 4.

Jednotlivé dosky majú na stranách priestory ohraničené tesnením, ktoré striedavo spája vždy dva protiahlé otvory (pozícia 1 a 2) pričom otvory 3 sú prietokové.



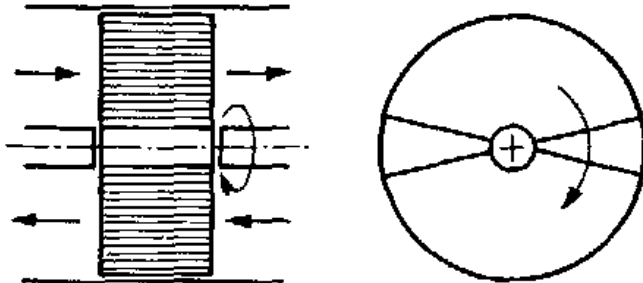
Z hľadiska použitého materiálu bývajú rebrované rúrky liatinové, oceľové, z hliníka a jeho zliatin, farebných kovov (meď, mosadz).

Z hľadiska tvaru rebrá bývajú kruhové, obdĺžnikové, špirálové, pozdĺžne (rebrované s osou rúrky), atď. (obr. 28).



Mikrokanálové výmenníky

Ide o konštrukciu parallel flow, kde je pôvodne jedna rúrka spojujúca obe komory nahradená sústavou mikrokanaľíkov o rozmeroch i menších ako 1 mm, v ktorých chladivo pri prechode sa vyparuje alebo kondenzuje. Mikrokanaľové hliníkové výmenníky, ktoré voči tradičným medeným prinášajú o 50 % zlepšený prestup tepla o cca 70 % úsporu miesta, 60 % úsporu hmotnosti, 70% zníženie ceny, 70 % zníženie náplne chladiva, jednoduchšiu recykláciu materiálov (*nie je nutná separácia*) a podobne. Výrobné problémy spočívajúce v počiatkovej vysokej investícii do technológie s hliníkom a vo zvládnutí kvality spojov, celého chladiaceho okruhu a podobne zatiaľ však neumožňujú ich rýchlejší vstup na trh.



Regenerátor s pohyblivou náplňou

Regenerátory tepla

Regenerátory môžu mať akumuláciu náplň nepohyblivú, alebo rotujúcu (kovovú) pre nižšie teploty plynov. Na obrázku vidno schému takéhoto zariadenia pozostávajúceho z pomaly rotujúceho kotúča opatreného lamelami. Kotúč je v potrubí opatrenom prepážkou, ktorá rozdeľuje prierez potrubia na časť, ktorou prúdia teplé plyny a časť, ktorou prúdi vzduch. Lamely kotúča, ktoré sa nahrievajú v plynnej časti odovzdávajú plynulo naakumulované teplo prúdiacemu vzduchu.

7.2.1 Kondenzátor

Je výmenník tepla v okruhu chladiva, v ktorom sa stlačeným parám odoberá teplo pri ich skvapalňovaní. Ak má chladivo kondenzovať musí sa mu teplo odvádzať látkou s nižšou teplotou. Keďže podľa zákona o zachovaní energie všetko teplo do systému privádzané sa musí rovnať teplu zo systému odvádzaného, potom tepelný výkon kondenzátora musí byť väčší ako výkon výparníka a to o hodnotu tepelného ekvivalentu práce potrebnej na pohon kompresora. Približne platí:

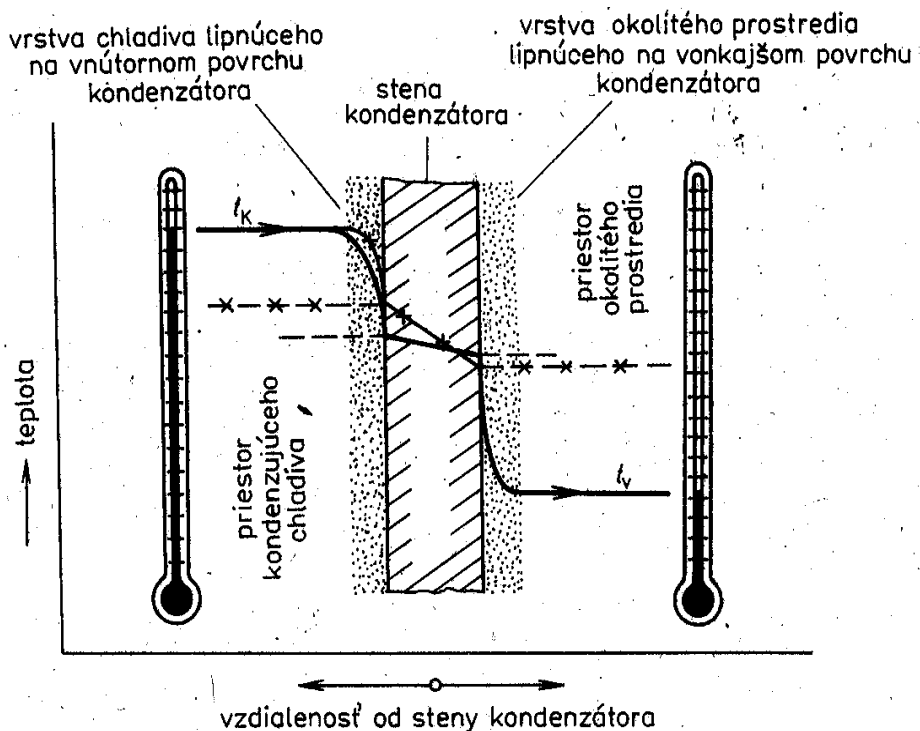
$$Q_k = 1,2-1,3 Q_o$$

Podľa konštrukcie a druhu látok, ktorými sú kondenzátory chladené ich delíme na:

- Chladené vodou (prietokové) ponorné, zväzkové, kotlové, ... ($k=230-1750$)
- Sprchové ($k=220-580$)
- Odparovacie – sprchové aj s nútenou konvekciou vzduchu ($k=250-700$)
- Chladené vzduchom s prirodzenou ($k=6$) alebo nútenou konvekciou vzduchu ($k=17-50$).

Mechanizmus prechodu tepla v kondenzátore

Teplotný spád, nutný na prechod tepla je daný rozdielom medzi kondenzačnou teplotou a teplotou okolitého prostredia. Na rozdiel od ideálneho priebehu teplôt pri prechode tepla, skutočný priebeh teplôt je odlišný – nie je taký priaznivý vďaka vrstvičkám chladiva, oleja a okolitého prostredia, ktoré lipnú na povrchu tepla výmennej plochy a prestup tepla zhoršujú podľa nasledujúceho obrázku. Podstatná časť teplotného spádu sa tak spotrebuje na prekonanie tepelného odporu týchto vrstvičiek. Na obrázku je ideálny priebeh bez vplyvu vrstvičiek vyznačený čiarkovanou čiarou.



Kondenzačná teplota a tlak

Čím vyššia je kondenzačná teplota, tým vyšší je aj kondenzačný tlak – tým vyšší musí byť aj výtlačný tlak kompresora. S každým teplotným stupňom zvýšenej kondenzačnej teploty, klesá chladiaci výkon o cca 1 %. Preto pri výrobe, prevádzke aj servise sa musí vždy venovať pozornosť dosiahnutiu čo najmenej možnej kondenzačnej teploty (tlaku). Vplyvy, ktoré nepriaznivo ovplyvňujú kondenzačný tlak, sú predovšetkým:

1. Vyššia teplota prostredia, ktoré ochladzuje kondenzátor.
2. Znečistený kondenzátor.
3. Veľa chladiva v okruhu.
4. Poddimenzovaná teplo výmenná plocha kondenzátora.
5. Neskondenzovateľné plyny v okruhu.
6. Nedostatočná cirkulácia prostredia, ktoré kondenzátor ochladzuje.

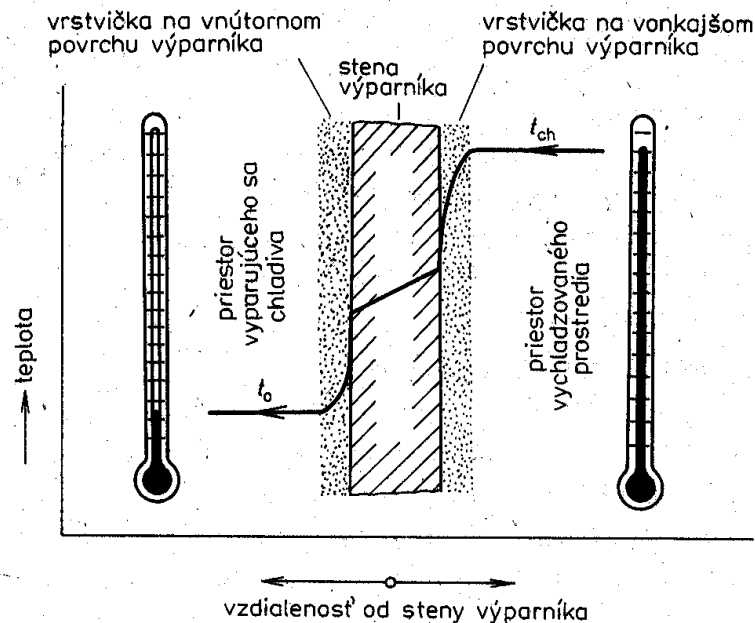
Chyby kondenzátorov

Možno ich rozdeliť do týchto skupín:

1. Konštrukčné.
 2. Projekčné.
 3. Výrobné.
 4. Prevádzkové.
- **Konštrukčné** chyby sa už nedajú odstrániť. Ide najmä o chybné dimenzovanie jednotlivých častí.
 - **Projekčné** chyby sa už tiež väčšinou neodstraňujú. Ide väčšinou o chybné dimenzovanie teplovýmennnej plochy. Ak je príliš veľká, môže spôsobiť nedostatočný rozdiel tlakov na expanzných zariadeniach. Ak je príliš malá potom je naopak kondenzačný tlak príliš vysoký, čomu zodpovedá aj kompresný pomer, s ktorým kompresor musí pracovať. Chladiaci výkon sa znižuje, príkon kompresora zvyšuje aj keď všetky ostatné komponenty pracujú v poriadku.
 - **Výrobné** chyby spôsobené zlou montážou spočívajú väčšinou v netesnosti spojov, deformáciách, zúžených prierezoch a pod.
 - **Prevádzkové** chyby sú väčšinou v zlej starostlivosti. Nečisté, zakryté plochy kondenzátora sú vinou obsluhy. Zavzdušnené kondenzátory zase vinou nedodržania technologického postupu opráv. Vzduch usadzujúci sa v hornej časti kondenzátora znižuje teplo výmennú plochu. Zvyšuje sa kondenzačný tlak, ktorý ak nezodpovedá kondenzačnej teplote, znamená to, že v kondenzátore je vzduch.

7.2.2 Výparník

Prichádza v ňom ku zmene skupenstva expandovaného kvapalného chladiva na plynné vyparovaním. Výparník musí umožniť prívod tepla z prostredia (ktoré sa ochladzuje) do vyparujúceho sa chladiva. Proces, ktorý prebieha vo výparníku je teda opačný ako proces v kondenzátore.



Mechanizmus prevodu tepla vo výparníku

Teplu pre vyparovanie chladiva sa môže vychladzovanému prostrediu odobrať vtedy, keď teplota vyparovania chladiva je nižšia ako teplota vychladzovaného prostredia. Tlak kvapalného chladiva sa pred vstupom do výparníka škrtiacim orgánom zníži z kondenzačného tlaku na tlak vyparovací odpovedajúci požadovanej teplote skupenskej premeny.

Prevod tepla je kombinovaný prúdením a vedením. Teplotný spád pre prevod tepla je daný rozdielom medzi teplotou vychladzovaného prostredia a teplotou varu. Na rozdiel od ideálneho priebehu teplôt pri prevode tepla, skutočný priebeh teplôt je odlišný – nie je taký priaznivý vďaka vrstvičkám chladiva a okolitého prostredia, ktoré lipnú na povrchu teploty výmennej plochy a prestup tepla zhoršujú podobne ako na kondenzátore podľa nasledujúceho obrázku. Zhoršujúci vplyv vrstvičiek sa pri výpočte súčiniteľa prechodu tepla k vyjadruje pomocou súčiniteľov α , predstavujúcich vyjadrenie tepelného odporu, ktorý vrstvičky kladú prestupu tepla.

Vyparovacia teplota a tlak

Priebeh závislosti vyparovacej teploty a tlaku je pre každý druh chladiva charakteristický. Čím nižšia je vyparovacia teplota, tým nižší je aj tlak vo výparníku. S klesajúcim tlakom pri rovnakom kondenzačnom tlaku sa zvyšuje tlakový pomer, zvyšuje sa práca kompresora a chladiaci výkon klesá. Pri poklese vyparovacej teploty o 1°C chladiaci výkon klesne o 2-3 %. Pri konštrukcii, projektovaní a prevádzke, musí byť snaha zabezpečiť prevádzku s čo najvyššou vyparovacou teplotou. Treba si uvedomiť to, že čím menšia je výparná teplota, tým väčší je objem pár na jednotku hmotnosti chladiva. Kompresor je objemový stroj, nasávajúci približne rovnaký objem bez ohľadu na hmotnosť nasávaných pár a tým klesá chladiaci výkon závislý od hmotnostného prietoku chladiva. Navyše so zväčšujúcim sa tlakovým pomerom zväčší sa aj objem pár ostávajúcich v škodlivom priestore kompresora. Tieto pary pri nastávajúcom zdvihy expandujú a vyplnia zdvihový objem valca, Dôsledkom je menšie množstvo nasatých pár.

Spôsoby vychladzovania prostredia

- Priame chladenie.
- Nepriame chladenie.

Priame chladenie

Je ak sa teplo prostrediu odoberá chladivom vyparujúcim sa vo výparníku priamo. Patrí sem aj chladenie ak teplotná látka je vzduch, ktorý následne odníma teplo napríklad potravinám.

Najväčšou prednosťou priameho chladenia je jednoduchosť a menší teplotný spád medzi vychladzovaným prostredím a vyparujúcim sa chladivom. Nevýhodou je malá akumulačná schopnosť chladu

a nebezpečenstvo zamorenia vychladzovaného priestoru chladivom. Preto výkon musí byť väčší ako výkon nepriameho chladenia

Nepriame chladenie

Je ak chladivo vyparujúce sa vo výparníku odoberá teplo najskôr teplotnej látky, kvapaline a takto ochladená kvapalina sa rozvádza do chladičov, ktorými sa vychladzuje prostredie. Nevýhodou je, že tento spôsob pracuje s väčším teplotným spádom ako pri priamom chladení, je energeticky náročnejší. Je to z toho dôvodu, že asi polovica celkového potrebného teplotného spádu je spotrebovaná na vychladzovanie teplotnej látky a druhá polovica je potrebná na vychladzovanie prostredia teplotnou látkou.

Výhodou je, že umožňuje akumulovať mimo energetickej špičky chlad a používať prírodné chladivá výbušné i toxické bez ohrozenia vychladzovaného priestoru.

Rozdelenie výparníkov podľa priebehu vyparovania

1. Suché s postupným vyparovaním
 2. Zaplavené alebo polozaplavené.
 3. Sprchované
 4. S nútenou cirkuláciou chladiva
- Suché výparníky - chladivo za expanzným ventilom (*zmes kvapalného a plynného chladiva*) postupne pri prechode výparníkom sa vyparuje. Na začiatku prevláda kvapalina. Z výparníka do kompresora sa odvádzajú len pary chladiva ($k=16-35$ na chladenie vzduchu až 350 na chladenie vody).
 - Zaplavené výparníky - využívajú sa lepšie podmienky pri prestupe tepla medzi stenou výparníka kvapalným chladivom, pretože väčšina vnútorného priestoru je zaplavená expandovaným chladivom. Nemajú schopnosť vracania oleja späť do kompresora ($k=460-580$ na chladenie vody)
 - Sprchované – chladivo sa privádza zhora na na teplovýmennú plochu. Časť sa vyparí zbytok cirkuluje. Nevýhoda je potreba použiť čerpadlo ($k=800-1415$ na chladenie vody).
 - S nútenou cirkuláciou chladiva – keď chladivo cirkuluje výparníkom prevažne ako kvapalina a bezpečne zmáča teplovýmennú plochu. Používa sa na väčšie vzdialenosti, plochy. Nevýhoda je použitie čerpadla ($k=285-790$ na chladenie vody).

Výparníky podľa konštrukcie

- Kotlové
- Rúrkové
- Rebrové
- Mikrokanálové
- Doskové
- Ai.

Vlhký vzduch a vysušovanie chladeného prostredia

Ide o zmes suchého vzduchu a vodnej pary. Čím vyššia je teplota vzduchu, tým vyššia je rozpustnosť vodnej pary vo vzduchu. Ak teplota povrchu výmenníkov klesne pod rosný bod, vlhkosť sa na nich vytráča. Ak je teplota povrchov nižšia ako 0°C vlhkosť namrzá. To je nežiaduce pretože:

- Námraza pôsobí ako izolant, znižuje výparnú teplotu.
- Námraza je tvorená z vlhkosti vychladzovaného prostredia, ktoré vysušuje a to tým viac čím:
 - Väčší je teplotný spád medzi teplotou výparníka a vychladzovaným prostredím.
 - Rýchlejší je pohyb vzduchu.

Ak vysušovanie nie je žiaduce napríklad na skladovanie nebalených potravín potom je potrebné dodržiavať nasledujúce zásady:

- Vyparovaciu teplotu nastaviť a udržiavať tak, aby teplotný spád bol čo najmenší.
- Potraviny neukladať do chladeného priestoru teplé.
- Používať čo najmenšiu rýchlosť vzduchu.
- Potraviny ukladať vo vhodných obaloch.

Chyby výparníkov

Sú v podstate zhodné s chybami uvedenými pre kondenzátory, s tým hlavným rozdielom, že na výparníkoch sa môže pri mínusových vyparovacích teplotách tvoriť nežiaduca námraza, ktorú je potrebné pravidelne odmrazovať. Vybrané parametre rozdielne medzi výparníkmi a kondenzátormi z hľadiska funkcie v chladiacom okruhu (vzduch-chladivo). Sem patria rôzne konštrukčné usporiadania a rôzny spôsoby prietoku vzduchu (nástenne, podstropné), nútený (ventilátor) alebo prirodzený prietok vzduchu (domáce chladničky, stropné chladenie, ...), rôzna intenzita prietoku a dofuku vzduchu – sacie alebo tlačné usporiadanie, rôzna rozteč lamiel, rôzny spôsob odmrazovania, rôzne materiály podľa druh použitých médií.

Výparník

- Veľkosť
- Umiestnenie
- Prehriatie
- Rozdeľovač
- Ventilátor, dýzy, dofuk
- Teplotný spád
- Expanzný ventil
- Rozteč lamiel
- Tvar lamiel
- Odmrazovanie

Kondenzátor

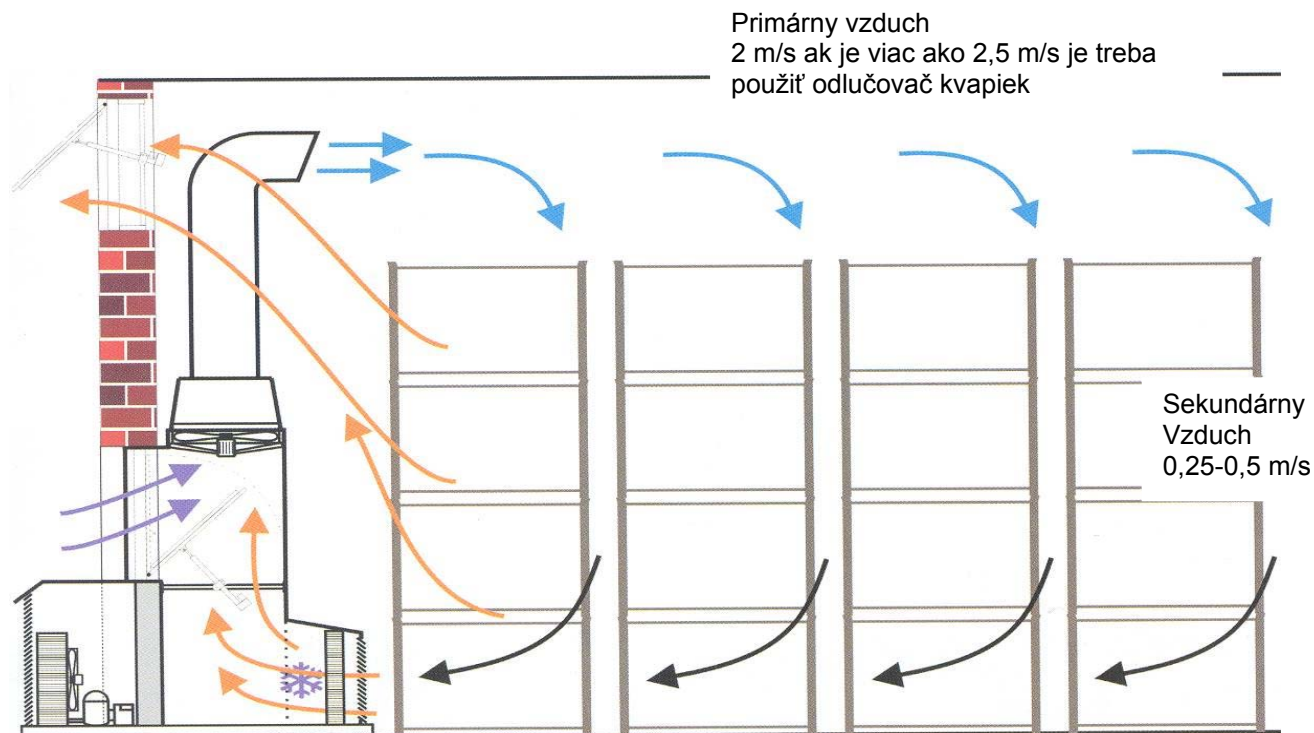
- Veľkosť
- Umiestnenie
- Prehriatie
- Podchladenie
- Teplotný spád
- Ventilátor a príslušenstvo
- Regulácia
- Rozteč lamiel
- Tvar lamiel

Porovnanie ventilátorových chladičov so sacím usporiadaním voči tlačným

- Rovnomernejšie obtekanie plochy výparníka
- Lepšie usmernený prúd vzduchu a tým väčší dofuk
- Kratšie doby ochladzovania a menšie teplotné diferencie v priestore a na tovare, ale pri vyššej strate vlhkosti a častejšom odmrazovaní
- Lepší prístup k oprave ventilátorov a lepšie chladený motor ventilátora
- Dobré vychladzovanie priestoru nezávisí len od dostatočného výkonu a druhu chladiča ale aj od jeho správneho umiestnenia

Rovnomerné vychladenie priestoru

Výmenníky sa umiestnia tak, aby nefúkali na prekážky, do dverí, zvolia sa správny počet výmenníkov, zvolia sa difúzory, usmerňovače, vzduchovody (textilné, ...

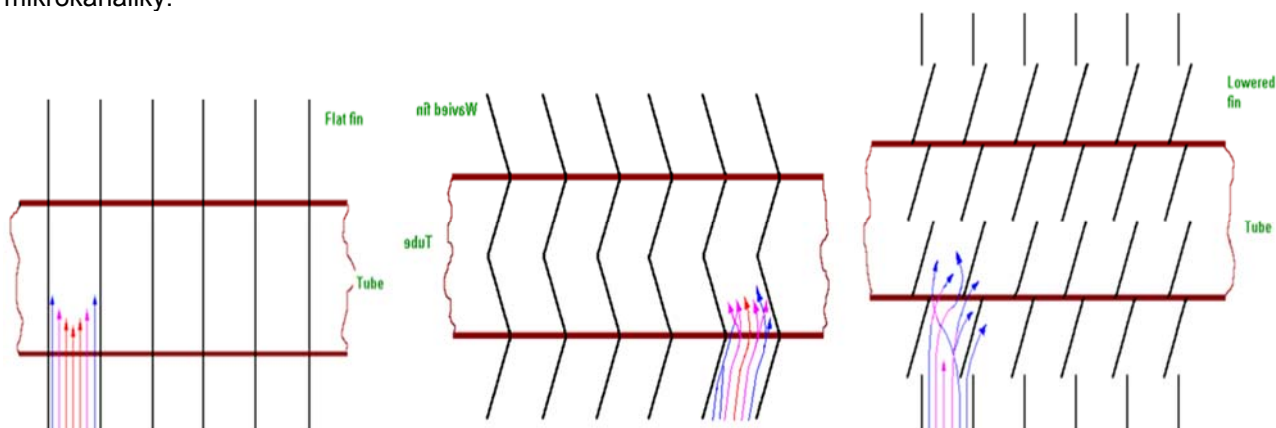


Rozteč lamiel

Do 4 mm	4,2-5 mm	6-8,5 mm	12 mm
Pre klimatizáciu	Pre nadnulové tv – bez námrazy a s nízkou vlhkosťou Pre priestory s dt < 6K	Chladiarne mäsa Mraziarne Mraziarenské sklady	Pre priestory s vysokou vlhkosťou a tv < -3°C Rýchlo chladiarne, Šokové zmrazovanie

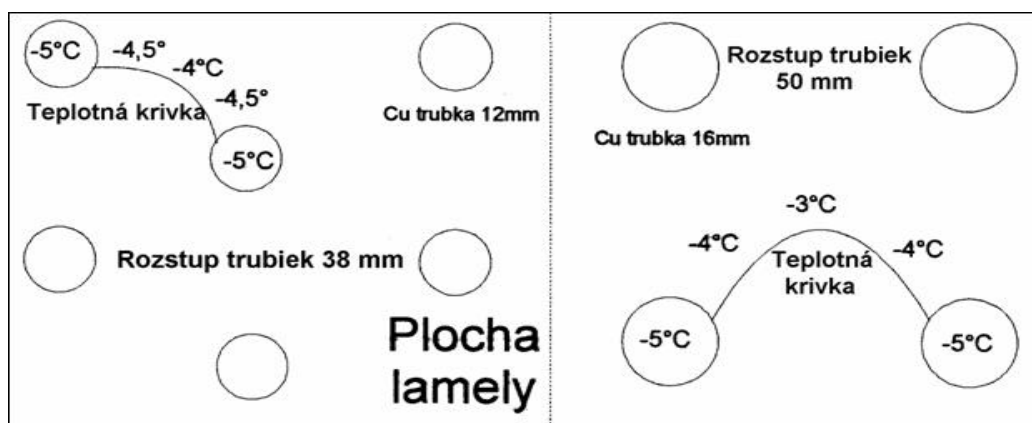
Optimalizácia rebrovania

Rozhodujúce výsledky a trendy v oblasti výmenníkov ako je tvarovanie rebier, vnútorné drážkovanie rúrok, mikrokanáliky.

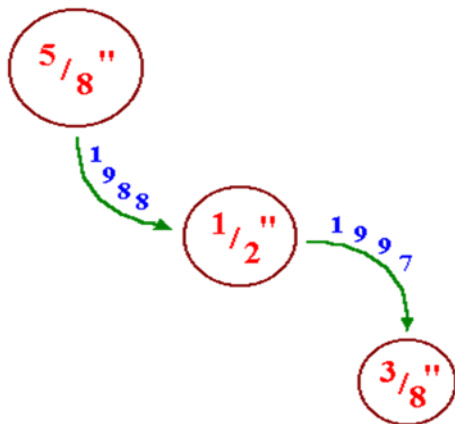


Teplotná krivka na spojovacích lamelách

S väčším rozstupom trubiek potom má nižšie teploty. Teplotná krivka na lamele výparníka s rozstupom trubiek 50 mm dosahuje teplotu na lamelách v strede medzi trubkami o 1 °C nižšiu pri rovnakej vyparovacej teplote oproti výparníku z rozstupom trubiek 38 mm.

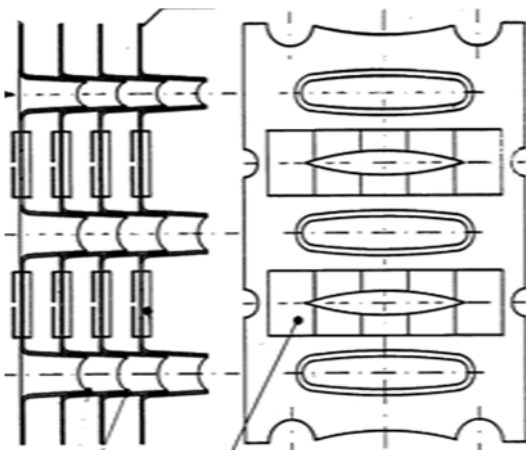


Optimalizáciou ryhovaním z vonku i z vnútra rúrky sa dosiahlo zmenšenie jej priemeru



Bez rúrkový vzduchom chladený kondenzátor

Úspora miesta, vyšší výkon, úspora energie, ľahšie čistenie, menej chladiva.



Mikrokanálové výmenníky

Ide o konštrukciu parallel flow, kde je pôvodne jedna rúrka spájajúca obe komory nahradená sústavou mikrokanálikov o rozmeroch i menších ako 1 mm, v ktorých chladivo pri prechode sa vyparuje alebo kondenzuje. Mikrokanálové hliníkové výmenníky, ktoré voči tradičným medeným prinášajú o 50 % zlepšený prechod tepla o cca 70 % úsporu miesta, 60 % úsporu hmotnosti, 70% zníženie ceny, 70 % zníženie náplne chladiva, jednoduchšiu recykláciu materiálov (*nie je nutná separácia*) a podobne. Výrobné problémy spočívajúce v počiatočnej vysokej investícii do technológie s hliníkom a vo zvládnutí kvality spojov, celého chladiaceho okruhu a podobne zatiaľ však neumožňujú ich rýchlejší vstup na trh.

Výroba rúrkových výmenníkov Strihanie a lisovanie plechov

Výroba výmenníkov sa začína narovnávaním a strihaním trubiek. Pokračuje lisovaním a strihaním hliníkových, medených lamiel. Lamely naskladané na seba na pohľad tvoria rúrkový systém. Ten sa však tvorí až po nasunutí zväčšia medených trubiek, pre amoniak nerezových. Prelisovanie trubiek, kolenka, spájkovanie. Rúrky, aby vytvorili s lamelami dobré teplovodné spojenie sú roztiahnuté prelisovaním trňom s presahom 0,3 mm na priemere trubky 10 mm. Do nasunutých trubiek nalisovaných na lamely sa potom natĺkajú kolená a spájkujú obojstranným horákom. Vstupy trubiek z výmenníka do prívodných trubiek sú nasúvané do otvorov, ktoré na tenkej medenej trubke majú hrúbku i niekoľko mm, čo je dosiahnuté rozlisovaním otvoru kužeľom. Tým sa dosiahne po spájkovaní tesné spoľahlivé spojenie.



Výroba rozvádzačov a zberačov chladiva

Vyvírtavanie a vytlačovanie dier do zberačov tak, aby sa vkladané trubky správne osadili a prispájkovali. Na obrázku v strede je vidieť rozvádzač s 32 vstupmi. Na obrázku napravo je vidieť umiestnenie rozvádzača na výparníku a vedenie jednotlivých vývodov do sekcií výparníka pri zachovaní ich rovnakej dĺžky.



Skúšky na tesnosť

Výmenníky sú skúšané na tesnosť ponorom do vody natlakované suchým vzduchom na 31 barov a v izolovaných komorách s možnosťou regulácie teploty od - 20 do + 40 °C na prestupy tepla, hlučnosť a podobne



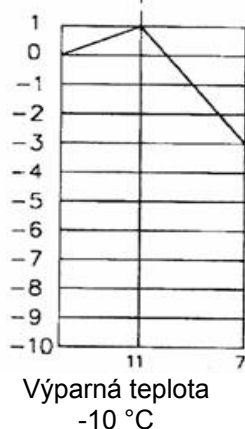
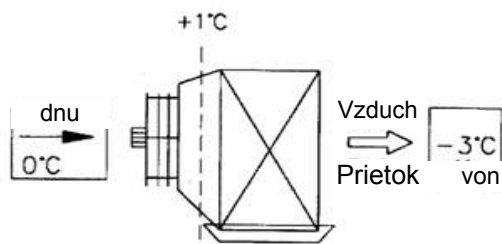
Ventilátorové výparníky

Voľba výparníka je závislá väčšinou od druhu chladeného priestoru (*sklad, mraziareň, spracovateľská miestnosť a podobne*), od druhu chladeného tovaru (*vysoká alebo nízka relatívna vlhkosť vzduchu v priestore*) a od priestorových pomerov (*výška miestnosti, využitie priestoru*).

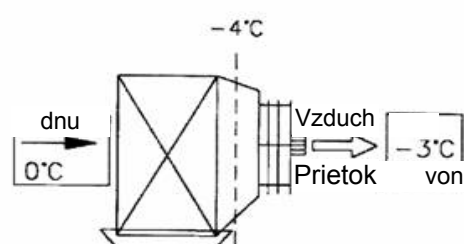
Jednou z možností, ako niektoré parametre ovplyvňovať, je voľba usporiadania ventilátora voči výparníku:

- s výfukom z ventilátora a
- výfukom lamelovou plochou.

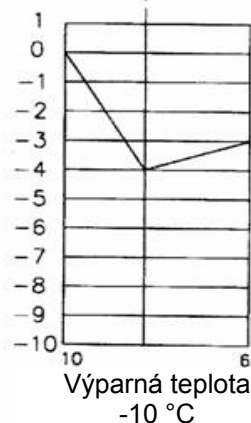
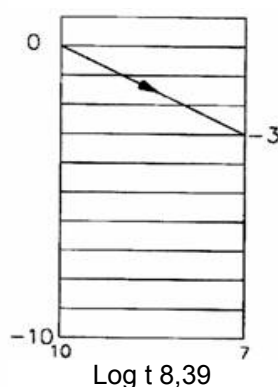
Výfuk lamelovou plochou tlačné usporiadanie



Výfuk z ventilátorov sacie usporiadanie



Výber je podľa rozdielu
3 °C



Rovnomernosť účinnosti teplo výmennej plochy

Vďaka rozdielom rýchlosti vzduchu na čele teplotosnej plochy bude na rôznych miestach blokov rôzna tepelná záťaž. V rohoch výmenníka v sacom prevedení bude prenos výkonu menej efektívny.

Vystupujúci vzduch v tlačnom prevedení si udrží vyššiu vlhkosť.

Nebezpečie rozstrekovania kvapiek vody

- V tlačnom prevedení zvlášť pri rozmrazovaní predĺženým chodom ventilátorov (v chladiarniach s mierne nadnulovou teplotou) existuje nebezpečie rozstrekovania rozpustených kvapiek vody. Je to dané, lokálne vyššou rýchlosťou vzduchu.
- Nižšia rýchlosť vzduchu v sacom prevedení naprieč blokom nevytvára nebezpečie zachytenia kvapiek prúdom vzduchu.

Tvorba námrazy

- **Výfuk lamelovou plochou – tlačné prevedenie** - Rovnomernejšia vrstva námrazy po celej hĺbke bloku vďaka turbulentnému prúdeniu vzduchu = menej rozmrazovacích cyklov za deň
- **Výfuk z ventilátorov – sacie prevedenie** - Väčšia tvorba námrazy koncentrovaná na hranách lamiel na vstupe vzduchu do výmenníka. Vyžaduje viac rozmrazovacích cyklov, lebo hrozí väčšie nebezpečie, že bude prívod vzduchu blokovaný námrazou.

Samoodmrazovanie v chladiarniach s mierne nadnulovou teplotou

- **Výfuk lamelovou plochou– tlačné prevedenie** - Teplo ventilátora ohrieva vzduch. Táto tepelná energia (vzrast teploty) rozmrazí časť námrazy akumulovanej na lamelách.
- To je veľmi výhodné zvlášť v chladiarniach pre dlhodobé skladovanie ovocia a zeleniny, lebo sa tak do priestoru vracia časť vlhkosti. Zaisťuje tak vyššiu hmotnosť vyskladňovaného produktu.
- **Výfuk z ventilátorov – sacie prevedenie** - Pri teplotách v miestnosti nad 0° C sa nedá využiť výhod tepla ventilátora k rozmrazovaniu námrazy. Toto teplo ide priamo do skladu a priamo tak zvyšuje teplotu miestnosti aj skladovaného tovaru.

Pozícia výparníka

- **Výfuk lamelovou plochou – tlačné prevedenie** - Vzďalenosť od steny musí byť minimálne rovná priemeru ventilátora.
- **Výfuk z ventilátorov – sacie prevedenie** - Vzďalenosť od steny musí byť minimálne rovná $\frac{3}{4}$ výšky chladiča (*respektíve lamelovej plochy*).

Rozmrazovanie – komínový efekt

- **Výfuk lamelovou plochou– tlačné prevedenie** - Väčšie riziko kondenzácie vlhkosti na strope alebo chladných predmetoch v boxe. Dá sa tomu však predchádzať buď znížením odmrázovacieho výkonu, alebo – v priemyselných chladičoch – inštaláciou difuzéra s rozmrazovacou klapkou.
- **Ventilátor - sacie prevedenie** - Ak nie je vzduch v sklade príliš vlhký, komínový efekt nespôsobí kondenzáciu vlhkosti na obruči ventilátora ani na jeho lopatkách.

Výfuk a dofuk z ventilátorov

- **Výfuk z ventilátorov** - Väčšia pravdepodobnosť tvorby námrazy z vlhkého vzduchu z chladiča je v blízkosti ventilátora a na jeho lopatkách. Pri nedostatočnom odmrázení môže prísť až k zablokovaniu lopatiek. Tomuto riziku sa však dá predchádzať inštaláciou samostatného odmrázovania límcov ventilátora alebo odmrázaním textilných výustok.
- **Dofuk** - Dofukom je taká vzdialenosť od výparníka, kde rýchlosť vzduchu dosahuje 0,25 m/s.

Výfuk lamelovou plochou tlačné prevedenie

- Vzduch s chladičov s výfukom a lamelovou plochou má nízku rýchlosť, ale laminárny prúd. Vďaka tomu sa v chladiarniach s hladkým stropom vlastnou hybnosťou pri strope (tzv. Coanda efekt) a dostane ďalej, ako by sa z jeho rýchlosti dalo predpokladať.
- Nižšia rýchlosť je tiež vhodná tam, kde sa v chladiarni častejšie vyskytuje obsluha a tam, kde sa v blízkosti chladiča skladujú nebalené potraviny (zabránenie vysušovania).
- V priemyselných výparníkoch so 4 – pólými motormi (cca 1400 ot.min⁻¹) sa dá dofuk výrazne predĺžiť pomocou difuzéra Rýchlosť sa zvýši z obvyklých 3 m/s na 6 – 8 m/s a výsledný dofuk (vďaka laminárnemu prúdeniu) je dlhší ako dofuk výparníka s výfukom z ventilátorov.

Výfuk z ventilátorov – sacie prevedenie

- Tieto chladiče majú vysokú opúšťacu rýchlosť vzduchu (cca 10 – 13 m/s) teoreticky dlhší dofuk. Prúd vzduchu je však veľmi turbulentný a rozťahnutý do šírky. Toto usporiadanie je vhodnejšie pre chladiarne, kde je výparník umiestený na dlhšej strane (teda tam kde je cieľom vzduch predovšetkým rozptýliť do strán).
- Zníženie turbulentnosti a zvýšenie smerovosti (to znamená dofuku) sa dá dosiahnuť pomocou nástavcov takzvaných jetov, alebo najlepšie použitím špeciálnych tlakových ventilátorov s vlastným vysokým límcem
- V sacom prevedení je celkovo väčšie riziko, že vzduch sa bude skôr, ako prejde chladiarňou, nasávať späť do chladiča (odrazom od paliet a podobne).

Ventilátory s veľkým dofukom a difuzér

- **Výfuk z ventilátorov** Zníženie turbulentnosti a zvýšenie smerovosti (*to znamená dofuku*) sa dá dosiahnuť pomocou nástavcov takzvaných jetov, alebo najlepšie použitím špeciálnych tlakových ventilátorov s vlastným vysokým límcem. V sacom prevedení je celkovo väčšie riziko, že vzduch bude skôr, ako prejde chladiarňou, nasávaný späť do chladiča (*odrazom od paliet a podobne*). Ventilátory majú vysokú opúšťacu rýchlosť vzduchu (cca 10 – 13 m/s) teoreticky dlhší dofuk. Prúd vzduchu je však veľmi turbulentný a rozťahnutý do šírky. Toto usporiadanie je vhodnejšie pre chladiarne, kde je výparník umiestený na dlhšej strane (*teda tam kde je cieľom vzduch predovšetkým rozptýliť do strán*).
- **Výfuk lamelovou plochou** - Dofuk výrazne predĺžiť pomocou difuzéra. Rýchlosť laminárneho prúdenia sa zvýši z obvyklých 3 m/s na 6 – 8 m/s a výsledný dofuk (*vďaka laminárnemu prúdeniu*) je dlhší ako dofuk výparníka s výfukom z ventilátorov.

7.2.3 Odmrazovanie výparníkov

Teplota na povrchu výparníka (*pracujícího so vzduchom pri podnulových teplotách*) je pri behu kompresora takmer vždy nižšia ako teplota rosného bodu ochladzovaného vzduchu. Vodná para, ktorá skondenzuje na výparníku pri teplotách pod bodom mrazu, tvorí námrazu, ktorá zhoršuje prechod tepla zo vzduchu do výparníka. Pri plnom zaplavení plochy výparníka, ak sa znižuje koeficient prechodu tepla, znižuje sa aj výparná teplota podľa vzťahu:

$$t_o = t_{prostredia} - \frac{\dot{Q}}{S \cdot k}$$

Znižovaním výparnej teploty sa znižuje nielen energetická efektívnosť chladiaceho okruhu, ale aj technologické podmienky napríklad skladovania potravín. Preto musí byť námraza z povrchu výparníka periodicky odstraňovaná odmrázovaním. K tomu je potrebné priviesť určité množstvo tepla. Spôsob (*intenzita a čas*) akým odmrázovacie teplo privedieme, významne ovplyvňuje hospodárnosť prevádzky chladiaceho okruhu. Je rozdiel odmrázovať výparník v chladiacom, mraziarenskom sklade s veľkým množstvom naakumulovaného chladu a výparník na tepelnom čerpadle vzduch-voda, kedy počas odmrázovania môže prísť k zníženiu tepelnej pohody.

Používané sú nasledovné spôsoby odmrázovania:

- Z vnútra výparníka:
 - Reverzáciou
 - Kompresným teplom
 - Zámenou funkcie výparníkov
- Z vonka výparníka:
 - Nepriamo:
 - S akumulovaným podchladzovacím teplom (APT)
 - Priamo:
 - Striedaním funkčných výparníkov s aktuálnym podchladzovacím teplom
 - Sprchovaním (vodou, solankou, ...)
 - Elektrickým prúdom
- Kombinovane:
 - S akumulovaným podchladzovacím teplom + kompresným teplom

Funkcia odmrázovania

Schéma súvislostí pri procese odmrázovania výparníka

- krok –Ohriatie hmoty výparníku (*vrátane námrazy*) na teplotu topenia námrazy (0 °C).
- krok –Topenie námrazy pri stálej teplote výparníka (teplote topenia námrazy 0 °C).
- krok –Ohriatie výparníka na „bezpečnostnú“ vyššiu teplotu (nad 0 °C)

Všetky tri kroky pritom sprevádza (*premenná*) tepelná strata !!!

Teplá potrebné k odmrázovaniu

- Q_1 – teplo pre topenie námrazy
- Q_2 - teplo pre ohriatie hmôt výparníka a námrazy na teplotu jej topenia
- Q_3 – teplo na ohrev na bezpečnostnú teplotu
- Q_4 – teplo stratové, ktoré prejde do chladeného priestoru

$$Q_{celkom} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

Podiel týchto jednotlivých tepiel sa mení v závislosti od vonkajšej teploty, len teplo na odmrázovanie sa nemení. Pri podnulových vonkajších teplotách zložky 2,3,4 zvyšujú svoj podiel a pri nadnulových okolo nuly naopak znižujú, respektíve môže tam byť aj malý tepelný zisk z okolia. Pri každom odmrázovaní je však potrebné priviesť určité množstvo tepla $Q_{celkom} - Q_1$, ktoré je po odmrázovaní potrebné odviesť chladiacim okruhom bez ohľadu na množstvo námrazy. Vzhľadom tiež na čas by pri odmrázovaní:

- Frekvencia mala byť čo najmenšia (dlhšie intervaly), aby sme čo najmenej tepla priviedli do chladeného priestoru.

- Okamžité privedené teplo na odmrazenie by malo byť čo najvyššie, aby sme čo najviac skrátili čas odmrazovania.

Výsledkom by mala byť čo najvyššia účinnosť odmrazovania:

$$\eta = \frac{Q_1}{Q_{celkom}}$$

Frekvencia odmrazovania

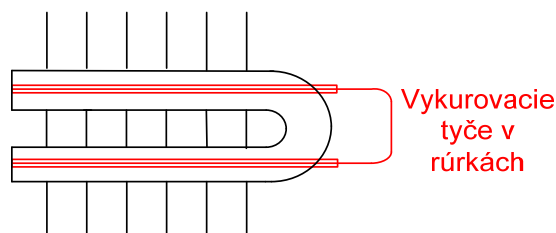
Je kompromisom medzi účinnosťou odmrazovania a klesajúcou výparnou teplotou, vplyvajúcou na hospodárnosť prevádzky. Z tohto hľadiska by sa naopak žiadalo frekvenciu odmrazovania zvýšiť. Optimálna frekvencia je kompromisom medzi oboma požiadavkami.

Príklady odmrazovania

Odmrazovanie elektrickým ohrevom

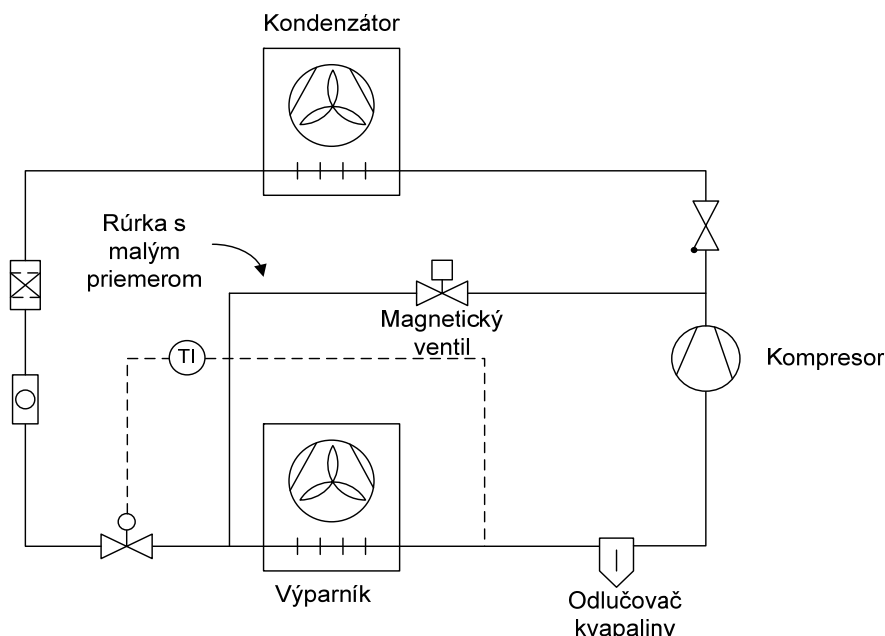
Výparník so zabudovaným elektrickým odmrazovacím systémom (*vyhrievacie drôty vo vnútri rúrok*).

Výhoda: jednoduchosť. Nevýhoda: Potreba dodatočného elektrického príkonu



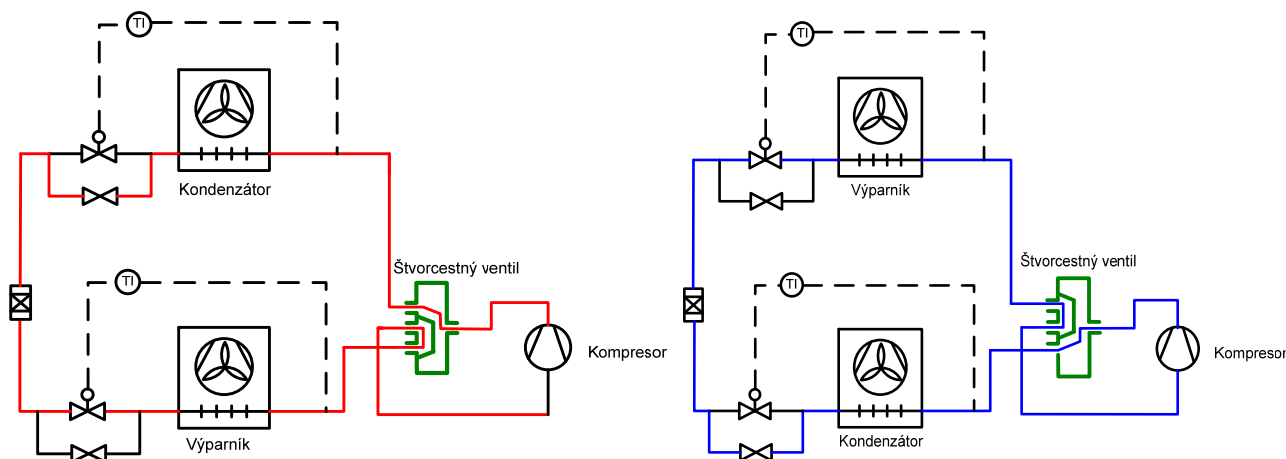
Odmrazovanie použitím obtoku horúcimi parami chladiva

V tomto prípade je použitý horúci plyn chladiva vystupujúci z kompresora, ktorý je privedený do výparníka pomocou magnetického ventilu. Pre zabezpečenie tlakového rozdielu medzi kondenzačným a výparným tlakom je potrebné použiť obmedzovač toku chladiva zabudovaný hneď za (*pri*) magnetickým ventilom. To je zvyčajne urobené vo forme obtokovej rúrky s malým priemerom. Systém odmrazovania horúcimi parami chladiva je najvýhodnejšie použiť pre krátke periódy odmrazovania, teda pri formovaní malého množstva ľadu, alebo v kombinácii s iným systémom odmrazovania.



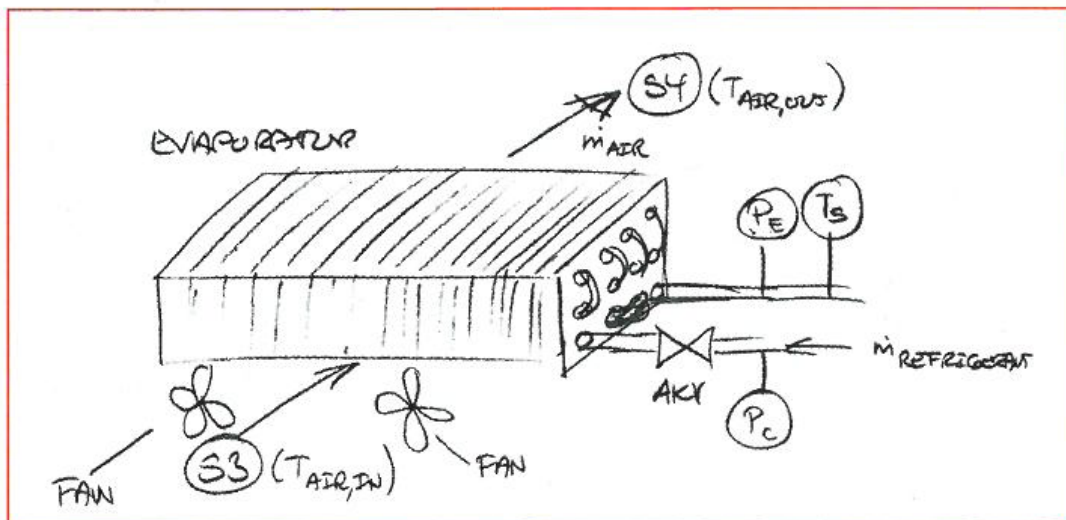
Odmrazovanie pomocou reverzibilného obehu

- Výhody: veľmi výkonné a efektívne odmrazovanie
- Nevýhody: dodatočné časti zvyšujú cenu zariadenia



Adaptívne odmrazovanie

„Adaptívne rozmrazovanie“ je funkcia v regulátoroch Danfoss (obrázok) a nahrádza funkciu „Odmrazovania podľa potreby“ je založená na štatistickom vyhodnocovaní dĺžky predchádzajúcich odmrazovaní. Použitím AKV ventilu ako merača prietoku je možné porovnať energetickú rovnováhu na strane vzduchu pretekajúcim výparníkom a na strane chladiva. Postupne sa tvorí námraza na lamelách výparníka spôsobuje zníženie výkonu výparníka a pri dosiahnutí kritickej medze je spustené odmrazovanie. Pri použití tejto funkcie v distribučnom chladiacom nábytku sa dá dosiahnuť zníženie počtu odmrazovaní až o 85 %. V prípade použitia chladiacich komôr sa počet odmrazovaní v priebehu roka pohybuje od dvoch za deň až po dve za týždeň.



Obrázok Pe : výparovací tlak Ts : teplota na výstupe z výparníka Pc: kondenzačný tlak

Kritériá pre iniciáciu odmrazovania

1. Voľba časového intervalu medzi odmrazovaniami v závislosti aj od vonkajšej teploty
2. Sací tlak
3. Tlaková strata vzduchu prechádzajúceho výparníkom
4. Zmena parametrov chladiaceho okruhu
5. Hrúbka námrazy

Vplyvy na odmrazovanie

- Relatívna vlhkosť vzduchu,
- Výkon kompresora,
- Odľahčovanie kompresora,

- Veľkosť dýzy EV,
- Rozdiel teplôt kondenzačnej a výparnej.

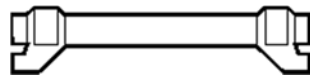
Signály k začatiu a ukončeniu odmravovania

Začatie	Ukončenie
Hodiny	Hodiny
Hodiny	Termostat
Snímač hrúbky ľadu	Termostat
Termostat, vlhkomer	Termostat
Presostat chladiaceho okruhu	Termostat
Diferenčný presostat prietoku vzduchu	Termostat

Napriek snahe vyvinúť systém, ktorý by včas a správne reagoval na hrúbku tvoriacej sa námrazy na základe napríklad hrúbky námrazy, zmeny tlakov, teplôt, zmien prietoku a relatívnej vlhkosti vzduchu cez výparník a podobne, doposiaľ najčastejším kritériom je časový interval medzi odmravovaniami na základe skutočného času prevádzky chladiaceho okruhu s možnosťou zohľadnenia vonkajšej teploty, ktorou sa zohľadňuje znižujúce sa priemerné množstvo vytváranej námrazy pri jej poklese pod 0 °C.

7.2.4 Výmenník na vnútornú výmenu tepla

Výmenník na vnútornú výmenu tepla sa používa k prenosu tepla medzi potrubím kvapalného chladiva a sacím potrubím chladiaceho zariadenia. Účelom tohto prenosu je využitie tepla z chladenia, ktoré by bez použitia výmenníka inak uniklo cez neizolované sacie potrubie do okolitej atmosféry. Tento efekt je pomocou výmenníka tepla využívaný k podchladzovaniu kvapalného chladiva. Je výhodnosť závisí od výparnej teploty a druhu chladiva.



Výparníky pre chladenie vody

Prof. Zdeněk Dvořák, pre *Spravodaj S CHKT 4/2001 podľa: Konzepte für Flüssigkeit skühler. KI Luft – und Kältetechnik č.10/2000. strana 498 ÷ 502.*

Na túto tému bola na stránkach časopisu KI luft – und Kältetechnik rozvinutá diskusia spôsobom v tomto časopise obvyklým: 5 otázok bolo položených 4 odborníkom. Tentokrát to boli zástupcovia 4 hlavných dodávateľských firiem: York, Danfoss, Grasso a Trane.

Poznámka: V predchádzajúcich diskusiách boli oslovení pracovníci širšieho spektra vedy a techniky, napríklad vysokých škôl, projekcie, prevádzky a podobne. Zúženie na dodávateľov zrejme neposkytlo širší a obecnější pohľad na vec, ale len prezentáciu vlastných výrobkov, to jest súčasného stavu. Napriek tomu nie sú odpovede a zostručnené závery bez zaujímavostí.

Otázka č. 1 Ktoré z alternatív chladív napríklad NH₃, R404A, R507, R407C a prípadne R134a sú vhodné pre rôzne aplikácie a aké sú ich výhody a nevýhody?

Z odpovedí súhrne vyplýva, že veľmi výhodným chladivom je amoniak a to ako z hľadiska ekológie, tak prenosných vlastností. Náklady zvýšené bezpečnostnými opatreniami sa dajú kompenzovať zníženými nákladmi za energiu a tieto porovnania vedú k zvyšovaniu podielu amoniaku. Chladivo R134a je považované za vhodné pre väčšie chladiace výkony zaisťované skrutkovými kompresormi a turbokompresormi (300 až 4000 kW), a to ako z hľadiska regulácie, tak servisu. Pri chladive R407C sa poukazuje, na jeho veľký teplotný sklz okolo 7 K, ktorý je nutný rešpektovať pri navrhovaní veľkosti výmeníka (dá sa s ním aj zlepšiť termická účinnosť) aj v prevádzke pri doplňovaní chladiva uniknutého netesnosťami. Zo zmesi je výhodné R404A, pretože jednak je blízko zeotropnej (s teplotným sklzom do 1K), jednak má pomerne vysoký tlak a veľmi dobré termodynamické vlastnosti. Perspektívne jednotky sú stále vo vývoji.

Poznámka: Otázka je zavádzajúca, pretože rozhodnutia o druhu chladiva sú zásadné pri návrhu celého zariadenia a jeho vhodnosť či nevhodnosť pre výparník je skôr následkom tohoto rozhodnutia než jeho určujúcim hľadiskom.

OTÁZKA Č.2 PRE KTORÉ APLIKÁCIE JE VHODNÝ SUCHÝ VÝPARNÍK?

Odpovede sa zhodujú v tom, že suché výparníky sú vhodnejšie pre menšie a stredné chladiace výkony, pri amoniaku dokonca pre najnižšie výkony (podľa jedného z diskutujúcich), ale podľa ďalšieho diskutujúceho prinášajú amoniakové suché výparníky veľmi žiaduce zníženie náplne, a to až na 100 g/kW pre zariadenie. Podľa ďalšieho s diskutujúcich sú tieto výparníky vhodné aj z cenového hľadiska a to aj cez zhoršenú účinnosť, ale sú v odbore pomerne nové, takže ich správne vyriešenie ovláda len niekoľko špecialistov na amoniak.

OTÁZKA Č.3 PRE KTORÉ APLIKÁCIE JE VHODNÝ ZAPLAVENÝ VÝPARNÍK?

Odpovede vyplývajú v podstate z predchádzajúcej otázky – pre väčšie a veľké výkony predovšetkým pre tieto výhody: jednoduchá stabilná regulácia najmä pri zníženom výkone a najlepšie využitie teplosmennej plochy (odpadá nutné prehriatie pre ovládanie expanzného ventilu). Docieľuje sa malý teplotný rozdiel medzi teplotou vyparovacou a teplotou ochladenej látky, čo je cenné predovšetkým pri akumulčných chladičoch, v priemysle potravín, nápojov a podobne. Chladivom je v týchto prípadoch bežne amoniak. Zástupca fy Trane upozorňuje na ich patentovaný sprchovaný výparník znižujúci náplň chladiva až o 50 %.

OTÁZKA Č. 4 KTORÉ SYSTÉMY RIADENIA NÁSTREKU CHLADIVA SÚ VHODNÉ PRE SUCHÉ A KTORÉ PRE ZAPLAVENÉ VÝPARNÍKY?

Poznámka: V tejto otázke sa najviac negatívne prejavil výber diskutujúcich, pretože prevážnou väčšinou popisovali svoje výrobky.

Pre suché výparníky sú - v zhode názorov – vhodné elektronické prístroje schopné udržovať veľmi malé prehriatie, a to pri regulačnom rozsahu 10 ÷ 100 %. Rozdiely sú len v ich detailných riešeniach, ako je v odpovedi popísané.

Pre zaplavené výparníky je vhodný ten vôbec najjednoduchší plavákový ventil s mechanickým prevodom od plaváku k ihle meniaci sa prierez škrtiaceho otvoru. Sú však používané aj iné systémy od plaváka sledujúceho pohyb hladiny, napríklad otváranie magnetického ventilu pred vlastným škrtiacim orgánom alebo ako servomechanizmus pre ovládanie vlastného škrtiaceho ventilu zariadení vysokých výkonov. Impuls môže prichádzať aj od kapacitného snímača a dá sa použiť aj elektronická regulácia podobne ako na suchých výparníkoch. Sprchovací výparník má svoj zvláštny systém zložený na impulze od plaváka v oboch jeho krajných polohách pre vlastný mikroprocesorom riadený škrtiaci orgán.

Otázka č. 5 Aké sú výhody a nevýhody jednotlivých konštrukčných koncepcií?

V praxi sa presadili len dve koncepcie kotlovej trubkové a doskové. Kotlových je veľké množstvo konštrukčných variant, ktoré priviedli tieto výmeníky do veľkej dokonalosti a možnosti nájsť pre každú aplikáciu vhodné riešenie.

V kotlových zaplavených výparníkoch preteká chladená látka (voda) trúbkami, chladivo vrie v medzitrubkovom priestore. Nevýhodou je veľká náplň chladiva, dnes nežiadúca z rôznych dobre známych hľadísk. Riešenie tohoto problému prináša skôr zmienený sprchovaný výparník. Naproti tomu sú početné výhody: čistiteľnosť trúbok mechanicky po odopnutí vík, naprostá tesnosť a ľahká regulovateľnosť, dokonalé využitie teplosmennej plochy, opraviteľnosť výmenou alebo zaslepením jednotlivých defektných trúbok.

Poznámka: nie je zmienený vplyv hydrostatického tlaku, ktorý sa síce v tejto teplotnej (a teda tlakovej) oblasti môže prejavovať až pri veľkých rozmeroch, ale obecné na neho musí byť pamätané.

V kotlových suchých výparníkoch sa chladivo vyparuje v trúbkách a chladená voda prúdi kolmo na trúbky spravidla vo viac ťahoch. Výhody a nevýhody sú opačné k predchádzajúcemu typu: nemožnosť mechanického čistenia trúbok (*nutné chemicky*), obťažnejšia regulovateľnosť, ale menšia náplň chladiva. Účinnosť menšia vďaka nutnému prehriatiu pár na výstupe.

Doskové výparníky majú svoje dobré známe výhody: mimoriadnu kompaktnosť, to znamená vysoký výkon pri jeho malých rozmeroch a hmotnostiach a malej náplni chladiva. Čistiteľné sú síce len chemicky, ale turbolentný prietok lisovanými kanálkami znemožňuje tvorbu usadenín. Z hľadiska tesnosti a jej väzby na funkciu je rada problémov: zoskruktované sú síce ľahlo prispôsobiteľné požadovaným výkonom menením počtu dosiek, ale tesnenie je problematickejšie. Pájkované výmeníky sú tesné, ale neopraviteľné.

Zložitejšie je riadenie nástreku chladiva, a to hlavne u suchých pri znížení výkonov, keď je nutné dodržať rovnomerné rozdelenie chladiva do jednotlivých kanálov. Riešenie je vo voľbe vhodného regulačného systému predovšetkým s elektronickými regulátormi (*pozri otázok č. 4*).