

OBSAH

8	TECHNOLÓGIA PRÁCE S CHLADIVAMI	2
8.1	Stručne o jednostupňových parných obehoch	2
8.1.1	Jednostupňový obeh v Mollérovom diagrame	2
8.1.2	Tlakový pomer	4
8.1.3	Chladiaci výkon, príkon a chladiaci faktor	4
8.1.4	Vplyv vyparovacej teploty na chladiaci výkon	4
8.1.5	Vplyv kondenzačnej teploty na chladiaci výkon	5
8.1.6	Vplyv vyparovacej teploty na teplotu vlnutia, resp. na teplotu konca stlačenia chladiva vo valci kompresora	6
8.1.7	Vplyv teploty okolia kompresora na t_{vln} a t_2 a na teplotu pláši a	7
8.1.8	Vplyv elektrického podpätia, resp. prepätia na t_{vln} , resp. t_2	8
8.1.9	Spôsoby zníženia teploty na výtlaku pri polohetermetických kompresoroch	8
8.1.10	Pokles tlaku v sacom a výtláčnom potrubí	9
8.1.11	Príliš vysoký kondenzačný tlak	11
8.1.12	Cudzie plyny v chladivom okruhu	12
8.1.13	Nedostatok chladiva v chladivom okruhu	12
8.1.14	Výmena kompresora a jeho porovnávacie parametre	13
8.2.	Stručne o dvojtupňovom parnom obehu	13
8.2.1	Dôvody použitia dvojtupňového obehu	13
8.2.2	Parné dvojtupňové chladiace zariadenia	15
8.2.3	Porovnanie parametrov jednostupňového a dvojtupňového chladiaceho zariadenia pre vyparovacie teploty -20°C až -50°C	17
8.3	Hlavné smery v používaní chladiv z pohľadu konštruktéra, projektanta, montéra a servisného pracovníka	20
8.3.1	Chladivá pre chladiace okruhy	20
8.3.2	Tendencia používať chladivá a okruhy, pri ktorých je čo najmenšie množstvo chladiva	22
8.3.3	Tesné chladiace systémy	23
	Statická skúška	26
	Skúška pretlakom alebo vákuom	26
	Skúška pomocou mydlových bublín	26
	Skúška halogénovou lampou	26
	Skúška elektronickým detektorom	26
	Skúška pomocou héliového detektoru	27
	Skúška pevnosti (<i>tlaková skúška</i>)	27
8.3.4	Dôležité technologické postupy pri montáži	28
8.3.4.1	Zníženie hluku, šíriaceho sa z kompresora vystlaním stien chladiacej skrine dmiacim materiálom, resp. vložením krytu	30
8.3.4.2	Uloženie stroja na základ alebo základový rám	30
	Stroje uložené na tuhom základe	32
	Stroje uložené na odpruženom základe	34
8.3.4.3	Zníženie hluku šíriaceho sa z kompresora chvením a pulzáciou	35
	Amortizátory chvenia	35
	Timiče pulzácií	36
	Literatúra	37
8.4	Sušenie pomocou vákuovania	39
8.5	Výkony vývev	41
8.6	Postup pri vákuovaní	43
8.7	Meranie tlakov	43
8.8	Konštrukcia a údržba vývev	46

8.1.2 Tlakový pomer

Tlakový pomer je daný vzťahom :

$$\pi = \frac{p_v}{p_s} = \frac{\text{absolútny tlak na výtlaku kompresora}}{\text{absolútny tlak na saní kompresora}} = \frac{p_k}{p_o}$$

Tlaky v skutočnej prevádzke sa môžu meniť týmito vplyvmi :

- ♦ *rastúcou alebo klesajúcou teplotou chladiacej látky kondenzátora, tým stúpa alebo klesá kondenzačný tlak p_k*
- ♦ *s rastúcim alebo s klesajúcim zatažením výparníka, rastie alebo klesá vyparovací tlak p_o , zanášaním kondenzátora nečistotami z vonka, rastie p_k ,*
- ♦ *prítomnosťou tzv. nekondenzovateľných plynov v chladiacom okruhu, rastie p_k ,*
- ♦ *zanášaním výparníka p_o nečistotami z vnútra, nastáva pokles tlaku p_o ,*
- ♦ *zanášaním kondenzátora z vnútra, rastie kondenzačný tlak p_k .*

8.1.3 Chladiaci výkon, príkon a chladiaci faktor

Pre chladiace zariadenie podľa obrázku 8-1 platí rovnica rovnováhy :

$$Q_o + P = Q_k \quad (W)$$

kde : Q_o - tepelný tok privádzaný do výparníka (W)

P - príkon (W)

Q_k - tepelný tok, ktorý odvádza látka z kondenzátora (W)

Ak hmotnostný prietok chladiva dopravovaného kompresorom je m , potom chladiaci výkon výparníka podľa obrázku 8-3 je:

$$Q_o = m (h_6 - h_5) \quad (W)$$

$$P = m (h_2 - h_1) \quad (W)$$

$$Q_k = m (h_2 - h_1) \quad (W)$$

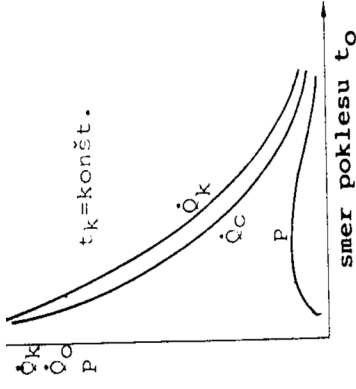
Podobne, pre príkon platí vzťah:

$$\varepsilon = \frac{Q_o}{P} = \frac{\text{chladiaci výkon}}{\text{príkon}} = \frac{Q_o}{P} \quad (W \cdot W^{-1})$$

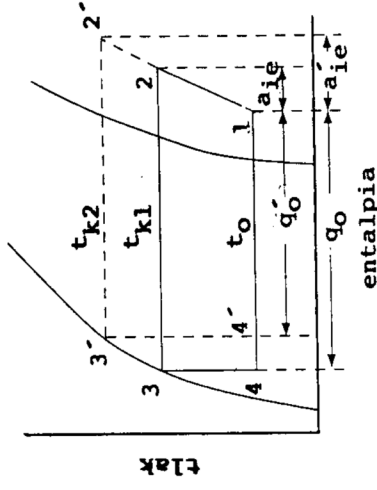
8.1.4 Vplyv vyparovacej teploty na chladiaci výkon

Na obrázku 8-4 je znázornený vplyv vyparovacej teploty t_o na chladiaci výkon Q_o , príkon P , a kondenzačný výkon Q_k parného chladiaceho zariadenia, za predpokladu, že kondenzačná teplota je konštantná a že konštantná je i teplota okolia. Platí :

- ♦ *čím bude vyparovacia teplota nižšia, tým bude obiehať chladiacim okruhom menej chladiva m a tým bude nižší aj chladiaci výkon výparníka Q_o . V tejto súvislosti bude nižší aj výkon kondenzátora Q_k .*
- ♦ *s rastúcou vyparovacou teplotou t_o sa zväčšuje dopravované množstvo chladiva m , menší objem chladiva na saní kompresora v_1 totiž klesá, v dôsledku čoho rastie chladiaci výkon výparníka Q_o a výkon kondenzátora Q_k . Priebeh príkonu nie je taký strmý ako pri Q_o a Q_k . Krivka príkonu dosahuje maximum a potom klesá.*



Obrázok 8-4 Vplyv vyparovacej teploty na chladiaci výkon výparníka Q_o , kondenzačný výkon kondenzátora Q_k a na príkon kompresora P



Obrázok 8-5 Chladiace obeh 1-2-3-4-1 a 1-2-3-4-1-1 pri kondenzačných teplotách t_{k1} , resp. t_{k2} a pri nezmenenej vyparovacej teplote t_o

Platí:

"Čím vyššia je vyparovacia teplota, tým vyšší je chladiaci výkon".

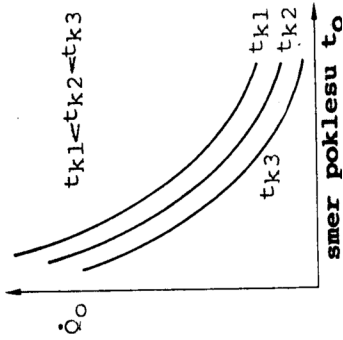
8.1.5 Vplyv kondenzačnej teploty na chladiaci výkon

Ak kompresor pracuje raz pri kondenzačnej teplote t_{k1} a potom neskôr pri kondenzačnej teplote t_{k2} , za predpokladu, že krivky izoentropického stlačenia 1-2 a 1-2' chladiva vo valci sa prekrývajú, ako aj za predpokladu, že nenastáva podchladenie chladiva (pozri body 3 a 3' na obrázku 8-5), potom môžeme vidieť dôsledky zmenenej kondenzačnej teploty na obrázku 8-6.

Na obrázku 8-6 sú znázornené tri krivky závislosti chladiaceho výkonu Q_o na vyparovacej teplote t_o pri troch konštantných kondenzačných teplotách.

Platí :

"Čím nižšia je kondenzačná teplota, tým vyšší je chladiaci výkon".



Obrázok 8-6 Tri krivky závislosti chladiaceho výkonu Q_o od vyparovacej teploty t_o pri troch konštantných kondenzačných teplotách

8.1.6 Vplyv vyparovacej teploty na teplotu vinutia, respektive na teplotu konca stlačenia chladiva vo valci kompresora

Hermetický chladiťový kompresor pri vyšších vyparovacích teplotách má vyšší chladiaci výkon, lebo dopravuje väčšie množstvo chladiva. Vtedy je elektromotor hermetického kompresora lepšie chladený ako v prípade, keď je vyparovacia teplota nižšia. Teda aj teplota vinutia hermetického kompresora bude pri vyššej vyparovacej teplote nižšia.

Ak bude t_o klesať, bude stúpať teplota súčastí kompresora a naopak, pri rastúcej vyparovacej teplote t_o sa teplota súčastí kompresoru zníži. Z hľadiska životnosti kompresora nás zaujíma teplota konca stlačenia chladiva vo valci kompresora a pri hermetických kompresoroch aj teplota vinutia elektromotora.

Tabuľka 1 Rozsahy vyparovacích teplôt, maximálnych kondenzačných teplôt a maximálnych teplôt konca stlačenia pre rôzne chladivá pre otvorené a polohermetické kompresory firmy Bock GmbH.

Chladivo	Náhrada	t_o min.	t_o max.	t_k max.	t_2 max.
R 134 a		-30 °C	+25 °C	+70 °C	+140 °C
R22		-45 °C	-10 °C	-60 °C	+140 °C
R 404 a, HP 80, FX 40, AZ 50, HX 4	R 502	-45 °C	-5 °C	+50 °C	+140 °C
R 507	R 502	-45 °C	-5 °C	+50 °C	+140 °C
R 407 A (Klea 60)	R 22 / R 502	-45 °C	-5 °C	+55 °C	+140 °C
R 407 B (Klea 61)	R 502	-45 °C	-5 °C	+50 °C	+140 °C
R 407 C	R 22	-35 °C	+10 °C	+55 °C	+140 °C
R 401 A, B	R 12	-30 °C	+25 °C	+70 °C	+140 °C
R 402 A	R 502	-45 °C	-5 °C	+50 °C	+140 °C
R 402 B	R 502	-45 °C	-5 °C	+55 °C	+140 °C
FX 10	R 22 / R 502	-40 °C	-5 °C	+55 °C	+140 °C
FX 40	R 502	-45 °C	-5 °C	+55 °C	+140 °C
FX 56	R 12	-30 °C	+25 °C	+70 °C	+140 °C
R 717 (NH ₃)		-30 °C	+15 °C	+55 °C	+120 °C
R 290 (Propán)		-40 °C	+10 °C	+60 °C	+120 °C

FX 20	R 502	-45 °C	-5 °C	+55 °C	+140 °C
HP 81	R 502	-45 °C	-5 °C	+55 °C	+140 °C
MP 39, MP 66	R 12	-30 °C	+25 °C	+70 °C	+140 °C
R 227	R 114	-16 °C	+20 °C	+90 °C	+140 °C
R 410A, B (AZ 20)	R502, 22, 13B1	cca. -60 °C	-5 °C	+40 °C	+140 °C
R 23	R 13	-80 °C	-30 °C	0 °C	+140 °C

Legenda : t_o - vyparovacia teplota
 t_k - kondenzačná teplota
 t_2 - teplota konca stlačenia chladiva vo valci

Vyššie uvedené údaje sú maximálne hodnoty, ktoré sa v žiadnom prípade

! nesmú prekročiť!

Podobné smernice pre maximálne teploty dávajú všetci výrobcovia kompresorov a tieto hodnoty sú potom záväzné.

Z hľadiska životnosti chladiacich zariadení je teplota konca stlačenia chladiva vo valci kompresora t_2 najsledovanejším parametrom pri kompresoroch. Všetci výrobcovia stanovujú minimálne vyparovacie, maximálne kondenzačné a maximálne teploty okolia kompresora, ktoré ani projektant, ani užívateľ, ba ani chladiarenský montér nesmú prekročiť.

V tabuľke 1 sú udané maximálne teploty konca stlačenia t_2 max, ktoré platia pre rôzne druhy chladiv a pre kompresory firmy BOCK. Podobné údaje t_2 max resp. $t_{2\text{minmax}}$ udávajú aj ostatní výrobcovia. Tieto hodnoty sa musia rešpektovať, sú záväzné.

V tejto súvislosti uvádzame zaujímavú poznámku:

"V dôsledku dobrego ochladzovania elektromotora parami nasávaného chladiva do kompresora má hermetický kompresor pri vyššej záťaži, to znamená pri vyšších vyparovacích teplotách a nižších kondenzačných teplotách priaznivejšie pracovné podmienky – má vtedy totiž nižšiu teplotu na vinuti a nižšiu teplotu konca stlačenia chladiva vo valci kompresora".

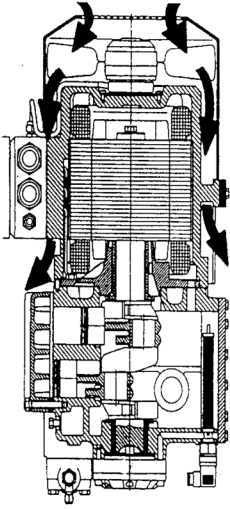
8.1.7 Vplyv teploty okolia kompresora na t_{in} a t_2 a na teplotu plášťa

Pri nižšej teplote okolia sa dosahujú nižšie teploty t_{in} a t_2 . V tejto súvislosti poznamenávame, že na životnosť kompresora a na podmienky práce kompresora vplyva veľmi zásadne spôsob ochladzovania kompresora. Strátové teplo kompresorov sa odvádza :

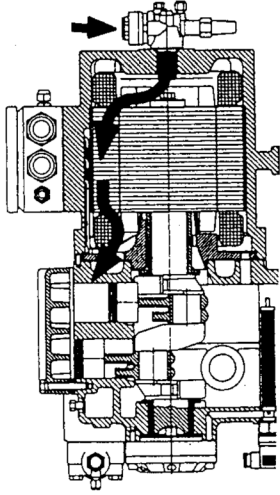
- statickým ochladzovaním – nastáva rozdielom merných hmotností vzduchu, ventilátorom, pozri obrázok 8-7,
- dynamickým prúdením od ventilátora kondenzačnej jednotky, resp. pridaným sacími parami chladiva, vstupujúcimi do plášťa kompresora, obrázok 8-8,
- olejom, ktorý sa rozstrekuje v priestore plášťa na súčasti kompresora,
- chladiťvom pomocou výmenníka tepla,
- vodou, pričom voda ochladzuje hlavy valcov kompresora.

Zaujímavé je porovnanie práce kompresora s vodou chladeným a vzduchom chladeným kondenzátorom za inak rovnakých prevádzkových podmienok a za predpokladu, že kompresor má rovnaký chladiaci výkon. Zmeraním povrchových teplôt plášťa kompresora by sme zistili, že kompresor pri práci so vzduchom chladeným kondenzátorom má nižšie teploty plášťa, resp. súčastí kompresora. Je to dané tým, že ventilátor

kondenzátora účinne ochladzuje kompresor. Je to však len v tom prípade, keď kondenzátor s ventilátorom je na jednom ráme s kompresorom.



Obrázok 8-7 Chladenie polohermetického kompresora Bock, typ HA pomocou ventilátora, ktorý je súčasťou kompresora. Plynné chladivo na sami vstupuje priamo do valca kompresora, motor nie je chladený chladivom.



Obrázok 8-8 Chladenie polohermetického piestového kompresora Bock, typ HG, chladivom nasávaným do kompresora. Toto nasávané chladivo je vedené cez elektromotor kompresora a intenzívne ho ochladzuje.

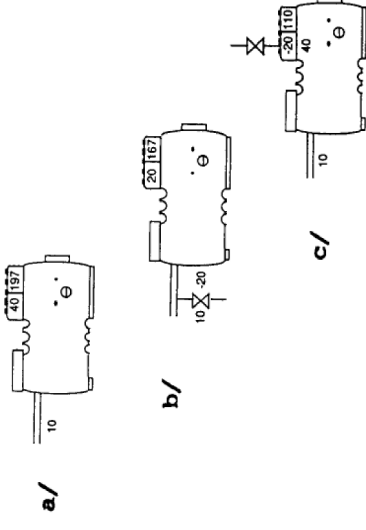
8.1.8 Vplyv elektrického podpätia, resp. prepätia na t_{min} , resp. t_2

Napätie elektrickej siete, ak je naň pripojené chladiace zariadenie, vplýva na moment zvratu elektromotora kompresora. Pri podpäti je moment zvratu menší, pri prepätí je väčší. Z toho dôvodu je relatívne zatáženie elektromotora pri prepätí najmenšie, z čoho plynie, že elektromotor je využiteľný pri menšej účinnosti. Pri prepätí sú preto vyššie el. straty ako pri menovitom napätí. Preto teplota vinutia pri prepätí je vyššia ako pri menovitom napätí, alebo pri podpäti.

Ak kompresor pracuje pri extrémnom prepätí, môže často vypínať ochrana kompresora. Na druhej strane pri extrémnom podpäti sa kompresor nerozbieha, zapína a vypína ochrana a zvyšuje sa teplota vinutia elektromotora. Výrobcovia kompresorov zaručujú rozbeh kompresorov pri men. napätí a kolísaní men. napätia v medziach $\pm 10\%$.

8.1.9 Spôsoby zníženia teploty na výtlaku pri polohermetických kompresoroch

Aby kompresory nepresiahli max. teploty vinutia, alebo teplotu konca stlačenia, výrobcovia kompresorov dávajú rôzne odporúčania. Tak napríklad firma Copeland uvádza výsledky merania so svojimi kompresormi. Tieto sú prezentované na obrázkoch 8-9 a, b, c.



Obrázok 8-9 Znižovanie teploty kompresora

a) V tomto prípade pary, nasávané do kompresora majú teplotu $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pri takejto teplote nasávaných pár chladiva pred vstupom do kompresora bola nameraná teplota v sacej dutine hlavy $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a teplota vo výtláčnej dutine hlavy $+197\text{ }^{\circ}\text{C}$, čo je neprijateľné.

b) Aj v tomto prípade je teplota sacích pár pred vstupom do kompresora $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$, do potrubia sa však nastrekuje kvapalné chladivo o teplote $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Potom namerali teplotu v sacej dutine hlavy kompresora $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a teplotu vo výtláčnej dutine hlavy $+167\text{ }^{\circ}\text{C}$. Aj táto hodnota t_2 je neprijateľná, dochádzalo by pritom ku koksovaniu oleja na výtláčnom ventile.

c) V treťom prípade sa chladí kompresor sacími parami taktiež o teplotu $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a vstrekaným chladivom, ktoré sa však vedie do sacej dutiny hlavy valca kompresora. Taktie sa dosiahla teplota sacích pár pred sacím ventilom $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$, keď teplota v sacej dutine bola $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vo výtláčnej dutine hlavy valca sa dosiahla teplota $t_2 = 110\text{ }^{\circ}\text{C}$. To je prijateľné.

8.1.10 Pokles tlaku v sacom a výtláčnom potrubí

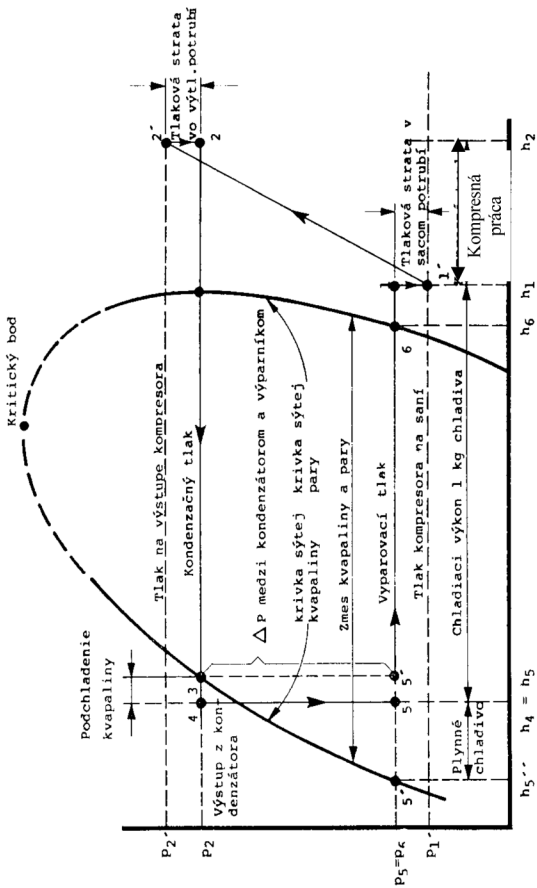
Pokles tlaku v sacom a výtláčnom potrubí chladiaceho zariadenia môže mať tieto príčiny:

- ♦ nadmerná dĺžka potrubia s príliš časťami ohybmi, prípadne so zvislým stupňaním,
- ♦ väčší počet regulačných prvkov vradených do potrubia, z ktorých každý jeden má určitú tlakovú stratu,
- ♦ upchanie týchto prvkov nečistotami, napr. sacích filtrov, pri ich upchatí dochádza k postupnému znižovaniu výkonu (znižuje sa prítok chladiva cez filter), nastáva výrazný pokles sacieho tlaku.

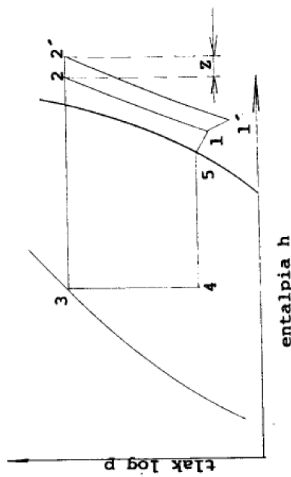
Ak klesá sací tlak v sacom potrubí, zvyšuje sa memý objem sacích pár chladiva v_1 na vstupe do kompresora, znižuje sa chladiaci výkon kompresora a taktiež výkon celého chladiaceho zariadenia. Pri stratách vo výtláčnom potrubí sa zvyšujú teploty t_2 a klesá chladiaci výkon.

Na obrázku 8-10 je v Mollérovom diagrame **log p – h** znázornený pokles sacieho a stupanie výtláčného tlaku.

Upozornenie: Pri dlhších potrubíach, viacerých ohyboch a dlhších stupňaniach, ako aj pri vradených filtroch a iných regulačných elementoch sa kontroluje pokles tlaku nielen pri montáži, ale aj počas údržby a pri servise zverených zariadení.



Obrázok 8-10 Pokles sacieho tlaku v sacom a výtlačnom potrubí spôsobený nadmernou dĺžkou, častými ohybmi a vertikálnym stúpaním, prípadne viacerými regulačnými prvkami, ktoré vytvárajú súčtovú tlakovú stratu v sacom a výtlačnom potrubí



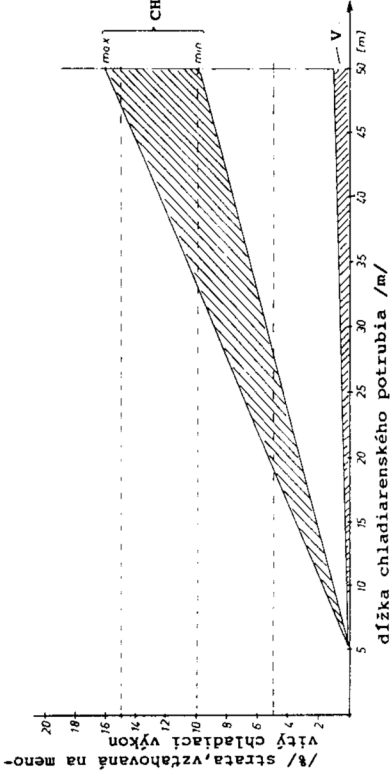
Obrázok 8-11 Pokles tlaku v sacom potrubí upchatým filtrom. Pre R22 sa dovoľuje max. pokles tlaku v sacom potrubí:

Pre klimatizačný rozsah: 0,98 bar.

Pre normálny rozsah: 0,63 bar.

Pre nízkoteplotný rozsah vyparovacích teplôt: 0,21 bar.

Na obrázku 8-12 je znázornený vplyv dĺžky potrubia pri tepelnom čerpadle a to v prípade chladiacej prevádzky, resp. v prevádzke ohrievania. Pri návrhu klimatizačného zariadenia, t.j. dimenzovaní výkonu klima zariadenia pre daný priestor musíme uvažovať so stratou spôsobenú nadmernou dĺžkou, ohybmi či zvislým stúpaním potrubia, pretože napr. pri dĺžke potrubia (pozri obrázok 7-12) môže strata dosiahnuť až 16 %. Obrázok platí pre určitý typ tepelného čerpadla. Straty sú uvedené spolu pre sacie a kvapalinové potrubie.



Obrázok 8-12 Vplyv dĺžky potrubia, ohybov a zvislých stúpaní na stratu chladiaceho výkonu

Legenda: CH – chladienie V – vykurovanie

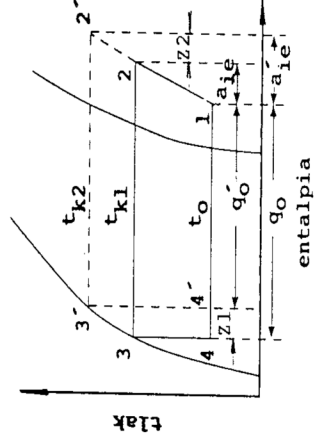
V metroch je uvedená tzv. ekvivalentná dĺžka potrubia. V takýchto prípadoch, kedy je škrtiaci orgán vo vonkajšej jednotke, je dôležité, aby potrubia boli bezchybne zatolované, aby sa straty chladiaceho výkonu nezvyšili ešte prestupom tepla do okolia.

8.1.11 Príliš vysoký kondenzačný tlak

Tento stav je znázornený na obrázku 8-13 a príčinou môžu byť tieto faktory:

- a) poddimenzovaný kondenzátor chladiva,
- b) porucha jedného alebo viacerých ventilátorov kondenzátora,
- c) vnútorné alebo vonkajšie znečistenie kondenzátora, resp. obidve znečistenia súčasne.

Vo všetkých týchto prípadoch pracuje kondenzátor pri zvýšenom kondenzačnom tlaku. Výsledkom toho je strata chladiaceho výkonu Z_1 a strata spôsobená zvýšením príkonu Z_2 (pozri obrázok 8-13). Montér môže uvedenému stavu zamedziť hlavne v treťom prípade, môže zabrániť znečisteniu okruhu.



Obrázok 8-13 Zvýšený kondenzačný tlak znamená zbytočné energetické straty:

strata Z_1 – čo je vlastne strata z poklesu chladivosti,

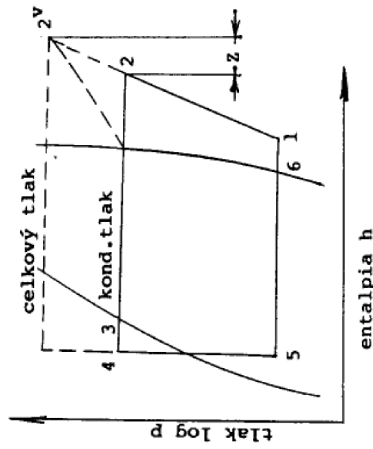
strata Z_2 – strata zvýšením príkonu kompresora.

8.1.12 Cudzíe plyny v chladiacom okruhu

Do chladiaceho zariadenia sa najčastejšie dostávajú pri montáži i za prevádzky chladiaceho zariadenia a zvyšujú kondenzačný tlak, pozri obrázok 8-14. V dôsledku toho chladiivo kondenzuje pri vyššej kondenzačnej teplote a vyššom kondenzačnom tlaku, čo znamená, že kompresor musí vytlačiť chladiivo z valca na vyšší tlak, z čoho vyplýva pri tomto stave aj zvýšený príkon kompresora. Rozdiel normálneho príkonu (*ktorý by bol bez prítomnosti cudzích plynov*) a zvýšeného príkonu (*cudzíe plyny sú prítomné*) je vlastne stratou zvýšením príkonu, ktorú zaplatí užívateľ chladiaceho zariadenia.

Pri tomto stave sa zvyšujú teploty kompresora:

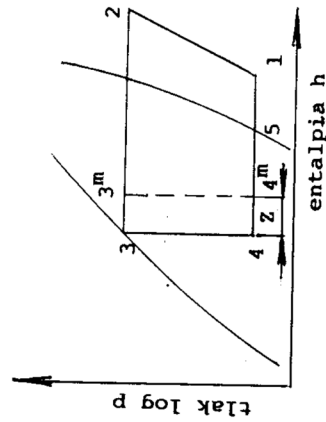
- ◆ *teplota vytlačeneho plynu t_2 ,*
- ◆ *teplota hlavy valca,*
- ◆ *teplota plášte kompresora a s tým súvisiace teploty.*



Obrázok 8-14 **Strata zvýšením príkonu v dôsledku prítomnosti cudzích plynov v chladiacom okruhu**

8.1.13 Nedostatok chladiwa v chladiacom okruhu

Pri správne fungujúcom chladiacom zariadení sa ku škrtiacemu orgánu dostáva kvapalné chladiivo. Ak chladiivo z chladiaceho okruhu z akýchkoľvek dôvodov uniká, potom ku škrtiacemu orgánu sa dostáva chladiivo v stave mokrej pary (*kvapalné a parné chladiivo*), pozri obrázok 8-15. Táto porucha sa prejavuje sýčavým zvukom pri expanznom ventile.



Obrázok 8-15 **Malé množstvo chladiwa v chladiacom okruhu**

Nedostatok chladiwa má teda za následok stratu chladiaceho výkonu. Na obrázku je táto strata označená symbolom Z . Pri úniku chladiwa chladiace zariadenie zvyšuje čas chodu za deň a postupne chladí stále menej. Prítomnosť pary v chladiacej komore sedlo škrtiaceho ventilu (*vyšoká prítlačná rýchlosť*) a ihlu ventilu. Škrtiaci ventil sa môže poškodiť do takej miery, že je potrebná jeho výmena.

8.1.14 Výmena kompresora a jeho porovnávacie parametre

Ak je potrebné vymeniť kompresor, nový kompresor by mal byť podľa možnosti, rovnakého typu a od rovnakého výrobcu. Ak to nie je možné, ako náhradu za nefunkčný kompresor použijeme kompresor približne rovnakého chladiaceho výkonu.

Typ kompresora a jeho hlavné parametre (*kompresor, ktorý vymeníme*), to znamená druh siete, napätie a frekvencia prúdu, chladiaci výkon a typ oleja, ako aj jeho množstvo, sú uvedené na štítku. Ak tieto údaje nie je možné prečítať, je potrebné zistiť údaje z dokumentácie, ktorú má zákazník, alebo z katalógu výrobcu kompresora. Ak nie je k dispozícii žiadna dokumentácia, je potrebné zistiť chladiaci výkon zo vzduchovej stravy výparníka alebo kondenzátora pomocou anemometra a rozdielu teplôt pred a za výmenníkom tepla (*pomocou teplomeru*).

V prípade, že sa použije nový kompresor iného výrobcu (*mal by mať rovnaké upínacie a pripojovacie rozmery*), musí byť jeho chladiaci výkon približne rovnaký ako chladiaci výkon vymieňaného kompresora. Výkony oboidvoch kompresorov musia byť porovnané pri tzv. porovnávacích teplotách:

- ◆ *pri rovnakej vyparovacej teplote t_0 ,*
- ◆ *pri rovnakej kondenzačnej teplote t_k ,*
- ◆ *pri rovnakej teplote nasávacích pár do kompresoru t_1 ,*
- ◆ *pri rovnakej podchladzovacej teplote t_4 ,*
- ◆ *približne pri rovnakej teplote okolia t_a .* Pozri obrázok 8-3.

Niekedy sa kompresory udávajú pri tzv. nulovom podchladení, to znamená, že kondenzačná teplota $t_k = t_4$, pozri obrázok 8-16.

Pri porovnaní kompresorov je dôležité, aby sa kompresory porovnávali pri rovnakých vyparovacích teplotách t_0 a rovnakých kondenzačných teplotách t_k , pretože odchýlky od teploty nasávacích pár t_1 a teploty chladienia t_4 sa dajú prepočítať.

Náhrada kompresora je vážna vec a preto musia byť pri voľbe nového, náhradného kompresora k dispozícii katalógové údaje kompresora alebo výkonové charakteristiky. V opačnom prípade je potrebné urobiť meranie vyparovacieho tlaku, kondenzačného tlaku, meranie rýchlosti vzduchu pomocou anemometra na stranách výparníka alebo kondenzátora, ako aj urobiť meranie ochladenia vzduchu na strane výparníka alebo ohriatie na strane kondenzátora. Pritom je potrebné mať na zreteli, že výkon kondenzátora je väčší oproti výkonu výparníka o príkon kompresora. Pri vodou chladenom kondenzátore sa meria prietok vody a teplota.

Rozbehový prúd je vždy udaný pri menovitom napätí. Ak sú dané dve napätia, menovité napätie je to napätie, ktoré je udané ako prvé (*napr. 220/240V, 50 Hz – menovité napätie je 220 V*).

8.2 Stručne o dvojitupňovom parnom obeh**8.2.1 Dôvody použitia dvojitupňového obehu**

Uvažujeme tri jednostupňové chladiace zariadenia s parným obehom chladiwa R22, označené ako A, B, C, pričom všetky tri pracujú pri rovnakej kondenzačnej teplote $t_k = 50^\circ\text{C}$ (*zodpovedajúci kondenzačný tlak $p_k = 19,403 \text{ bar}$*), pri rovnakej teplote nasávaných pár

$t_1 = 10^\circ\text{C}$, pri rovnakej podchladzovacej teplote $t_4 = 40^\circ\text{C}$ a pri rovnakej teplote okolia $t_5 = 25^\circ\text{C}$. Chladiace zariadenia A, B, C však pracujú pri rôznej vyparovacej teplote: $t_{0A} = 5^\circ\text{C}$, $t_{0B} = -15^\circ\text{C}$, $t_{0C} = -35^\circ\text{C}$, pozri obrázok 8-17.

Tlakový pomer π obchov A, B, C teploty konca stlačenia t_2 , izoentropický príkon a_{ie} a chladiace faktory ϵ sú uvedené v tabuľke 2.

Tabuľka 2 Súvislosť medzi vyparovacou teplotou, resp. tlakovým pomerom, teplotou konca stlačenia t_2 , izoentropickým príkonom a_{ie} a chladiacim faktorom ϵ

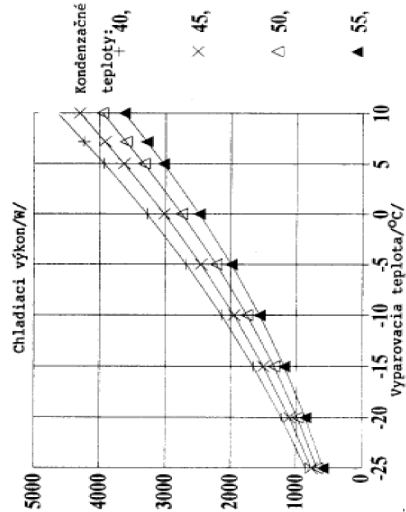
Obeh	Vyparov. teplota t_0 ($^\circ\text{C}$)	Vyparov. tlak p_0 (bar)	Kondenz. teplota t_k ($^\circ\text{C}$)	Kondenz. tlak p_k (bar)	Tlakový pomer π	Teplota konca stlačenia t_2 ($^\circ\text{C}$)	Izoentrop. príkon a_{ie} (kJ/kg)	Chladiaci faktor ϵ ($\text{W}\cdot\text{W}^{-1}$)
A	+5	5,843	50	19,4	3,32	75	31	5,1
B	-15	2,960	50	19,4	6,55	108	54	3,0
C	-35	1,317	50	19,4	14,7	147	79	2,1

Z tabuľky 2 vyplýva, že znížením vyparovacej teploty (a pri stálej kondenzačnej teplote), to znamená pri zvyšovaní tlakového pomeru rastie teplota konca stlačenia chladiča vo valci t_2 , rastie izoentropický príkon a_{ie} a znižuje sa chladiaci faktor ϵ . Vidíme, že chladiace zariadenie C pracuje s najvyšším tlakovým pomerom ($\pi = 14,7$) a v kompresore sa dosahuje najvyššia teplota konca stlačenia $t_2 = 147^\circ\text{C} > t_2 = 130^\circ\text{C}$ – pozri tabuľku 1. Ak by totiž chladiace zariadenie C pracovalo s teplotou $t_2 = 147^\circ\text{C}$, potom by boli extrémne všetky teploty kompresora (teplota hlavy valca, teplota plásta kompresora, teplota ložísk, teplota oleja, teplota valca – pri kompresoroch chladených chladičom).

Dôsledkom extrémnej teploty t_2 je:

- ◆ *kokosovanie oleja na výtláčnych ventiloch kompresora (pokles chladiaceho výkonu),*
- ◆ *pri tlakovom pomere $\pi = 14,7$ pôsobí na mechanizmus najväčšie tlakové sily,*
- ◆ *pokles dopravnej účinnosti a chladiaceho výkonu , čo by si vyžiadalo zväčšiť rozmery valcov kompresora a teda i celkové vonkajšie rozmery kompresora,*
- ◆ *pokles životnosti kompresora a tým vlastne i celého chladiaceho zariadenia C.*

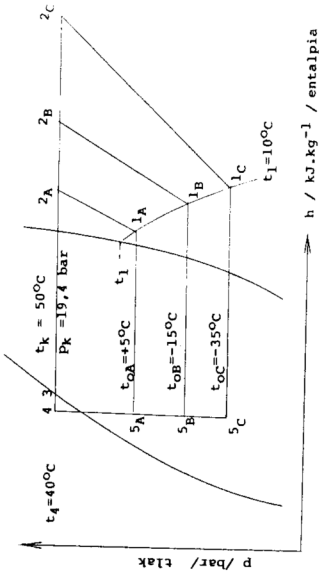
Toto je možné zovšeobecniť na akékoľvek chladiace zariadenie s parným obchom chladiča.



Obrázok 8-16 Charakteristiky chladiaceho výkonu hermetického piestového kompresora Electrolux Cubigel typ S26TN pri skúšob. podmienkach CECOMAF:

vyparovacia teplota – 25 až $+10^\circ\text{C}$,
kondenzačná teplota 40 až 55°C ,
podchladenie = 0°C , teplota nasávacích pár 32°C , teplota okolia 32°C .
Chladičivo: R22 Napätie: 220 V
Frekvencia: 50 Hz.

Kompresor je možné použiť do max. teploty okolia 43°C (tropické podmienky).



Obrázok 8-17 Chladiace zariadenie A pracuje pri $t_{0A} = +5^\circ\text{C}$, zariadenie B pri $t_{0B} = -15^\circ\text{C}$, zariadenie C pri $t_{0C} = -35^\circ\text{C}$.

Všetky zariadenia majú totožné kondenzačné teploty $t_k = 50^\circ\text{C}$, teploty podchladenia $t_4 = 40^\circ\text{C}$, teploty nasávacích pár $t_1 = 10^\circ\text{C}$ a teploty okolia $t_a = 25^\circ\text{C}$. Najvyššie teploty t_2 sú na zariadení C. Memný príkon a_{ie} je najvyšší pri zariadení C: zariadenie pracuje s najnižším chladiacim faktorom. Chladičivo: R 22.

Z uvedených dôvodov pri vysokom tlakovom pomere delíme tlakový pomer do dvoch, alebo viacerých stupňov. Troj- a viacstupňové chladiace zariadenia sú zriedkavé.

8.2.2 Parné dvojstupňové chladiace zariadenia

Okrem dôvodov uvedených v kapitole 8.2.1, sú ešte technologické dôvody – ak sú potrebné dve alebo viac vyparovacích teplôt (chladiace zariadenie s dvomi alebo viacerými chladiacimi povinnosťami).

Výpočet medzistupňového tlaku p_m sa robí podľa vzťahu :

$$p_m = \sqrt{p_0 \cdot p_k}$$

kde : p_0 – vyparovací tlak (P_a)
 p_k – kondenzačný tlak (P_a)

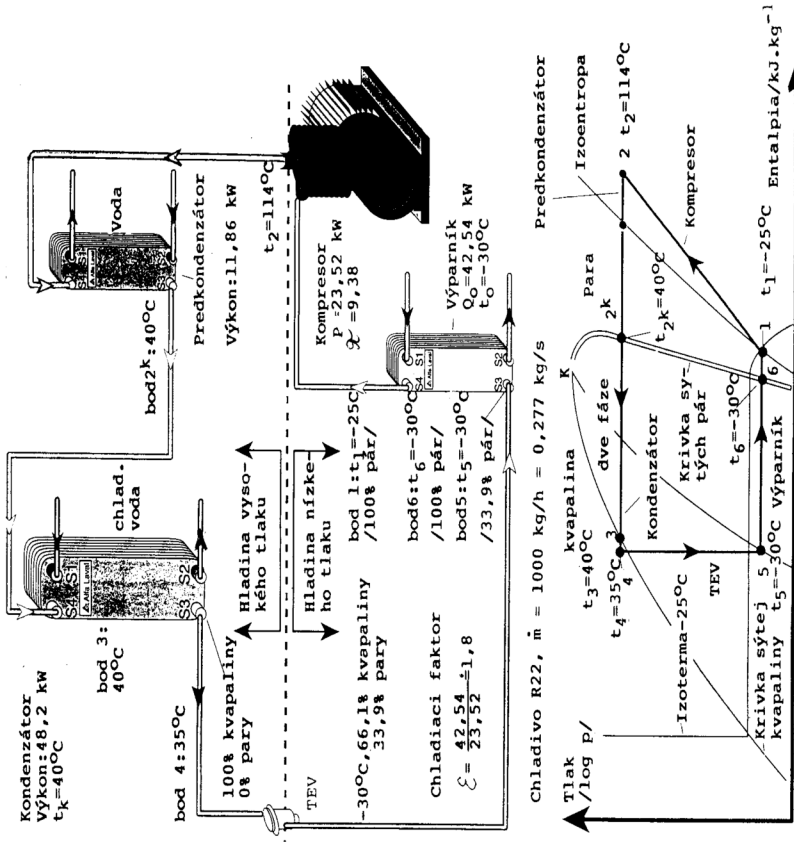
Snažíme sa, aby pomer medzi tlakmi v danom stupni neprevyšil hodnotu 8. Vzťah pre výpočet tlaku na medzistupni vyhovuje pre návrhy v bežnej technickej praxi. Dvojstupňové chladiace zariadenia s parným obchom sa s výhodou používajú pri vyparovacích teplotách od -20°C do -50°C .

Dvojstupňové chladiace zariadenia vyššie uvedenej konštrukcie môžu byť s jedným výparníkom (jednou chladiacou povinnosťou), s jedným alebo dvomi zoškrtkami chladiča. V chladiacom okruhu môžu byť zabudované dva kompresory: jeden pre prvý a druhý pre druhý stupeň. Čím ďalej, tým viac sa používa jeden kompresor pre obidva stupne, ktorý má valec (valce) pre prvý a valec pre druhý stupeň pozri obrázok 8-20. Takouto konštrukciou dvojstupňového kompresora sa zjednodušuje inštalácia tým, že sa vo výrobnom závode vyrobí spolu s kompresorom aj podchladzovač kvapalného chladiča. Je dôležité, že chladičivo, stlačené v nízkotlakovom valci (vo valcoch) prvého stupňa sa pred vstupom do vysokotlakových valcov ochladí vypočítaným množstvom kvapalného chladiča, ktoré sa nasťrekuje do spojovacieho potrubia. Tým sa chladičivo vstupujúce do valcov druhého stupňa ochladí a teploty na výstupe z valca sú tak priaznivé: teplota plynného chladiča na výstupe

z valcov je v dovolenom rozsahu. Prikon je nižší v porovnaní s jednostupňovým chladiacim zariadením za rovnakých prevádzkových podmienok. Taktiež je vyšší chladiaci faktor.

Sú známe rôzne konštrukcie dvojstupňových chladiacich zariadení s parným obehom chladiva:

- ♦ s jednou chladiacou povinnosťou, priechodnou stredotlakou nádobou a s dvomi expanziami,
- ♦ s jednou chladiacou povinnosťou, nepriechodnou stredotlakou nádobou a s dvomi expanziami,
- ♦ s jednou chladiacou povinnosťou a jednou expanziou,
- ♦ s jednou chladiacou povinnosťou a s odľučovačom kvapaliny (namiesto stredotlakovej nádoby),
- ♦ s dvomi chladiacimi povinnosťami a priechodnou stredotlakou nádobou a s dvomi expanziami, atď.

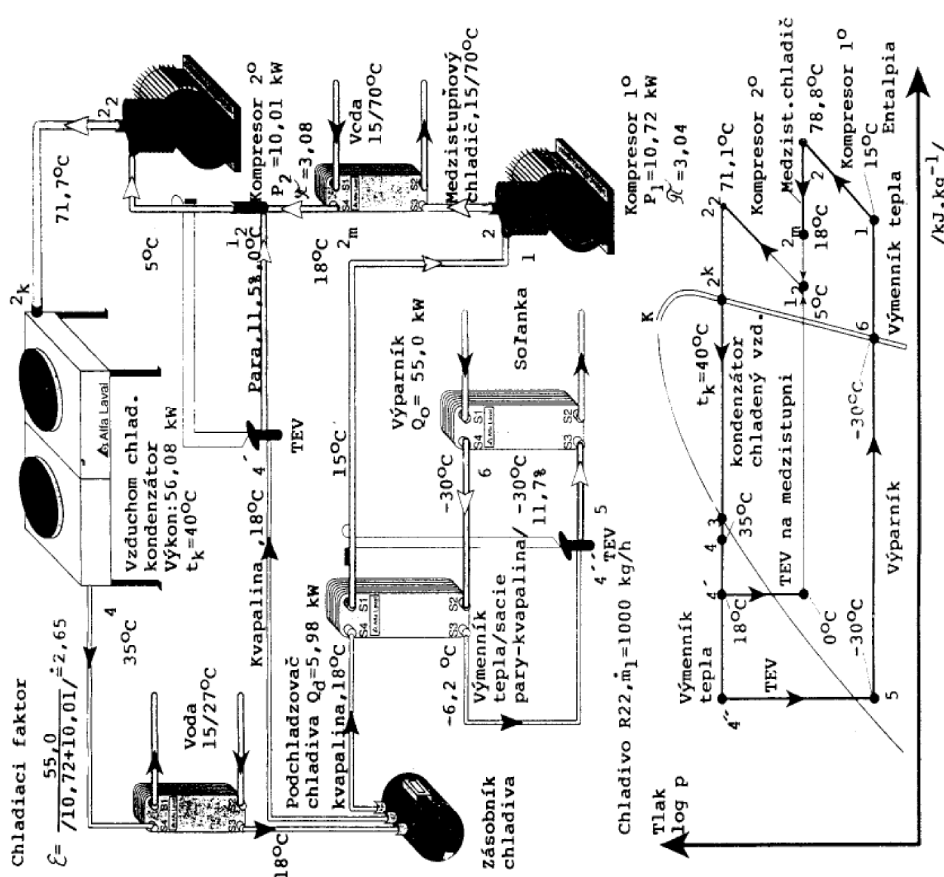


Obrázok 8-18 Jednostupňové chladiace zariadenie s parným obehom chladiva R 22

Vyparovacia teplota $t_e = -30^\circ\text{C}$, kondenzačná teplota $t_k = 40^\circ\text{C}$, teplota nasávaných pár $t_1 = -25^\circ\text{C}$, podchladiavacia teplota $t_4 = 35^\circ\text{C}$, teplota okolia $t_a = 25^\circ\text{C}$. Dané je prietochné množstvo chladiva R22 chladiacim okruhom $m = 1000\text{ kg/h} = 0,277\text{ kg/s}$.

8.2.3 Porovnanie parametrov jednostupňového a dvojstupňového chladiaceho zariadenia pre vyparovacie teploty -20°C až -50°C

Porovnajme jednostupňové chladiace zariadenie (pozri obrázok 8-18) s dvojstupňovým chladiacim zariadením s parným obehom chladiva (pozri obrázok 8-19) R22, ktoré pracujú pri rovnakých vyparovacích teplotách $t_e = -30^\circ\text{C}$ a rovnakých kondenzačných teplotách $t_k = 40^\circ\text{C}$. Hmotnostné prietoky chladiva cez obidva okruhy sú rovnaké a rovnajú sa $m = 1000\text{ kg/h} = 0,277\text{ kg/s}$.



Obrázok 8-19 Dvojstupňové chladiace zariadenie s parným obehom chladiva R22

Vyparovacia teplota $t_e = -30^\circ\text{C}$, kondenzačná teplota $t_k = 40^\circ\text{C}$, teplota nasávaných pár $t_1 = 15^\circ\text{C}$, podchladiavacia teplota $t_4 = 18^\circ\text{C}$, teplota pre exp. ventilom $t_4' = -6,2^\circ\text{C}$, teplota medzistupňového chladiva $t_{2m} = 18^\circ\text{C}$, teplota na vstupe chladiva do sania kompresora v druhom stupni $t_{12} = 5^\circ\text{C}$.

Popis chladiacich okruhov:

1. Jednostupňový chladiaci okruh má kompresor, predkondenzátor chladiva, ktorý ohrieva úžitkovú vodu, ďalej doskový kondenzátor chladený vodou, termostatický expanzný ventil a doskový výparník, ktorý ochladzuje solanku.

- ◆ *Teplota nasávacích pár* $t_1 = -25^\circ\text{C}$
- ◆ *Podchladzovacia teplota* $t_4 = 35^\circ\text{C}$
- ◆ *Teplota okolia* $t_a = 25^\circ\text{C}$

2. Dvojestupňový chladiaci okruh má:

- ◆ *dva kompresory: jeden pre prvý a druhý pre druhý stupeň,*
- ◆ *jeden výparník, ktorý ochladzuje solanku (chladenie je nepriame),*
- ◆ *vzduchom chladený kondenzátor,*
- ◆ *podchladzovač chladiva chladený vodou,*
- ◆ *zberač chladiva,*
- ◆ *výmenník tepla medzi sacími parami vstupujúcimi do kompresoru na prvom stupni a kvapalným chladivom za zberačom chladiva,*
- ◆ *medzistupňový chladič (medzi prvým a druhým stupňom).*

Riešenie :

Jednostupňové chladiace zariadenie

1. Výpočet výparovacích a kondenzačných tlakov

Výparovacím a kondenzačným teplotám priradíme (z tabuliek) zodpovedajúce tlaky :

$$t_0 = -30^\circ\text{C}, p_0 = 1,636 \text{ bar}$$

$$t_k = 40^\circ\text{C}, p_k = 15,323 \text{ bar}$$

2. Výpočet tlaku na medzistupni p_m

Podľa vzťahu

$$p_m = \sqrt{p_0 \cdot p_k} = \sqrt{1,636 \cdot 15,323}$$

$$= 5,133 \text{ bar}$$

Tento tlak približne zodpovedá výparovacej teplote $t_0 = 0^\circ\text{C}$. Preto volíme tlak $p_m = 4,98 \text{ bar}$ (zodpovedá $t_0 = 0^\circ\text{C}$)

3. Výpočet tlakového pomeru

$$\pi = \frac{p_k}{p_0} = \frac{15,323}{1,636} = 9,366 > 8$$

Tlakový pomer v prvom stupni

$$\pi_1 = \frac{p_m}{p_0} = \frac{4,981}{1,636} = 3,04 < 8, \text{ vyhovuje}$$

$$\pi_2 = \frac{p_k}{p_m} = \frac{15,323}{4,981} = 3,07 < 8, \text{ vyhovuje}$$

4. Nájdenie entalpií stavov okruhov

Podľa obrázku 8-18 pri tlaku $p_0 = 1,636 \text{ bar}$

Bod 1: $t_1 = -25^\circ\text{C}, h_1 = 396,6 \text{ kJ/kg}$

Bod 5: $t_5 = 35^\circ\text{C}, h_5 = 243,0 \text{ kJ/kg}$

Podľa obrázku 8-19 pri tlaku $p_0 = 1,636 \text{ bar}$

Bod 1: $t_1 = -30^\circ\text{C}, h_1 = 391,49 \text{ kJ/kg}$

Bod 5: $t_5 = -6,2^\circ\text{C}, h_5 = 192,82 \text{ kJ/kg}$

5. Daný je hmotnostný tok chladiva, rovnaký pre obidva druhy :

$$m = 1000 \text{ kg/h} = 0,277 \text{ kg/s}$$

6. Výpočet chladiaceho výkonu

Po dosadení za h_1 a za h_5 dostaneme:

$$Q_0 = m \cdot (h_1 - h_5) = 0,277 \cdot 153,6 = 42,54 \text{ kW}$$

$$Q_0 = m \cdot (h_1 - h_5) = 0,277 \cdot 198,67 = 55,0 \text{ kW}$$

7. Príkion

Príkiony sú uvedené v obrázkoch:

$$P = P_1 + P_2 = 10,72 + 10,01 = 20,73 \text{ kW}$$

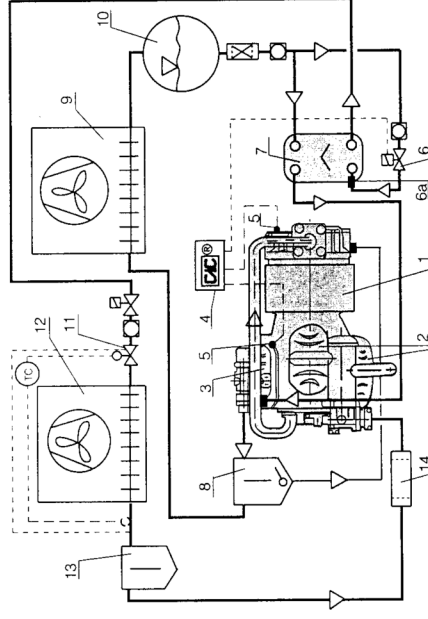
7. Výpočet chladiaceho faktoru

$$\epsilon = \frac{Q_0}{P} = \frac{42,54}{23,52} = 1,8$$

$$\epsilon = \frac{Q_0}{P} = \frac{55,0}{10,72 + 10,01} = 2,65$$

Z porovnania jednostupňového chladiaceho zariadenia pre nižšiu výparovaciu teplotu a dvojestupňového zariadenia za inak rovnakých prevádzkových podmienok vyplýva, že dvojestupňové chladiace zariadenie má oproti jednostupňovému tieto prednosti:

- ◆ *nižší tlakový pomer jednotlivých stupňov,*
- ◆ *nižšiu teplotu konca silenia v obidvoch kompresoroch (pre prvý a druhý stupeň),*
- ◆ *chladiace zariadenie má nižší súčtový príkon kompresorov,*
- ◆ *vyšší chladiaci faktor,*
- ◆ *v dôsledku vyššie uvedenej aj vyššiu životnosť.*



Obrázok 8-20 **Dvojestupňové chladiace zariadenie s jedným kompresorom** a s riadením vstrekovania kvapalného chladiva do spojovacieho potrubia medzi prvým a druhým stupňom pomocou riadiaceho modulu CIC. Zariadenie je patentované firmou Bitzer. Tmavo znázornené časti chladiaceho okruhu sú vyrobené a namontované vo firme Bitzer.

Legenda : 1 – kompresor, 2 – nízkotlakové valce, 3 – vysokotlakové valce, 4 – CIC – riadiaci modul pre vstrekovanie kvapalného chladiva, 5 – teplotný senzor, 6 – impulzný ventil na vstrekovanie kvapalného chladiva, 6a – vstrekovacia dýza, 7 – podchladzovač kvapalného chladiva, 8 – odlučovač oleja, 9 – kondenzátor, 10 – zberač kvapalného chladiva, 11 – TEV, 12 – výparník, 13 – odlučovač kvapaliny, 14 – filter v sacom potrubí

Dvojstupňové chladiace zariadenie s parným obehom chladiva s jedným kompresorom

Na obrázku 8-20 je dvojestupňové chladiace zariadenie firmy Bitzer s jedným kompresorom pre obidva stupne. Toto riešenie sa ponúka pre výkony od 4 do 22 kW a ich zdvojením až do 44 kW. Dosahujú sa veľmi dobré teplotné pomery, takže nie je nutné použiť dodatočný ventilátor na chladienie kompresora ofukovaním vzduchom.

8.3 Hlavné smery v používaní chladiv z pohľadu konštruktéra, projektanta, montéra a servisného pracovníka

Z Montrealského protokolu a jeho dodatkov vyplynul cieľ používať pre nové chladiace zariadenia:

1. *chladivá, ktoré v svojom chemickom zložení neobsahujú chlór, resp. majú nízky obsah chlóru a majú nulový alebo nízky skleníkový efekt,*
2. *také chladiace okruhy, v ktorých použitím určitých chladiv, sa zníži množstvo chladiva v chladiacom okruhu,*
3. *také zhotovenia chladiacich okruhov, ktoré svojou vysokou tesnosťou zamedzujú, resp. podstatne znižujú úniky chladiv,*
4. *také technologické postupy pri montáži, ktorými sa dosiahne maximálna životnosť chladiacich zariadení.*

8.3.1 Chladivá pre chladiace okruhy

Pre nové chladiace zariadenie je tendencia používať chladivá, ktoré nemajú chlór, resp. majú nízky obsah chlóru. Zvyšuje sa požiadavka na chladivá, ktoré majú nulový alebo nízky potenciál globálneho otepľovania (*GWP*). Sem patria hlavne nižšie uvedené chladivá.

R 134a

Je to azeotropické bezchlórové chladivo, teda potenciál porušovania ozónu $ODP = 0$. Sú s ním v súčasnosti v prevádzke i v servise dobré skusenosti. Používa sa pre malé chladiace zariadenia pre domácnosť, ale aj pre distribúciu potravín, pre klimatizačné zariadenia osobných automobilov, pre turbokompresorové chladiace zariadenia (*ako náhrada za R11*) a v poslednej dobe nachádza použitie aj v klimatizačných zariadeniach so skrutkovými kompresormi s chladiacim výkonom nad 350 kW.

Tesnenie a všetky materiály v chladiacom okruhu musia byť kompatibilné s týmto chladivom a používaným esterovým olejom. TEV sú špeciálne konštruované pre toto chladivo.

Pretože je azeotrop, správa sa ako čisté chladivo: nemá žiaden sklz ani pri vyparovaní ani pri kondenzácii. Vyžaduje sa však vysoká čistota a suchosť chladiaceho okruhu. Jeho použitie je v rozsahu vyparovacích teplôt -25 °C až $+10\text{ °C}$.

V klimatizačnom rozsahu prednosťou R134a je dobrý chladiaci faktor, nízka teplota na výtlaku t_2 , nízky tlakový pomer (*a teda nižšia možnosť únikov*) a vysoký súčiniteľ prestupu tepla.

Izobután (R 600a)

Má $ODP=0$ a potenciál globálneho otepľovania blízky nule. Používa sa pre chladičky a mrazničky pre domácnosť. Vyžaduje tesné hermetické chladiace okruhy. V porovnaní s R12 a R 134a je množstvo chladiva v okruhu malé. Chladiace zariadenie s týmto chladivom dosahuje energeticke úspory 10 %. Nevýhodou je však jeho výbušnosť a horľavosť. Preto pri výrobe, montáži, prevádzke a servise zariadení s týmto chladivom ako aj pri akejkoľvek manipulácii s ním je povinnosť dodržiavať bezpečnostné pokyny.

V chladiacich zariadeniach pre domácnosť chladivo R600a vytláča chladivo R134a. Takáto tendencia sa môže pozorovať v celej západnej Európe. Veľkovýrobcovia chladičiek a mrazničiek ich vyrábajú už viac s chladivom R600a ako s R 134a.

Kompresory, konštruované na R12 alebo na R 134a sa nemôžu použiť na chladivo R600a, lebo objemový výkon izobutánu je nižší o 45 %. Preto sú nutné zmeny zdvihového objemu kompresorov. Pri R 600a potrebné tento zvýšiť asi o 70 %. Kompresory na R600a sa nesmú používať ako náhradné diely pre opravované chladiace zariadenia s R12 alebo s R134a. V kompresoroch sa používa pre R600a alkylbenzénový alebo mimerálny olej.

R 404A a R 507

Obidve chladivá majú $ODP = 0$, avšak potenciál globálneho otepľovania majú vyšší ako R134a, resp. R22. Používajú sa pre živnostenské chladiarenské zariadenia v stredno a nízkoteplotnom rozsahu vyparovacích teplôt, hlavne pre chladiaci nábytok a pre chladiarne a mraziarne. Chladivo R507 sa skladá z chladiva R125 a R 134a (50% a 50 %) a nemá sklz. R404A sa skladá z chladiv R125 (44%), R143 (52%) a R134a (4%) a má veľmi malý, prakticky zanedbateľný teplotný sklz 0,5 K. V obidvoch prípadoch sa používa esterový olej.

R22

R22 je čiastočne halogénované chladivo s potenciálom porušovania ozónu $ODP = 5\%$. V Nemecku platí od 1.1.2000 zákaz výroby chladiacich zariadení s týmto chladivom, ako aj zákaz výroby tohoto chladiva. Aj keď má vynikajúce termodynamické vlastnosti, bude zastavená jeho výroba. Ako náhrada za R22 sa už začalo používať chladivo R407C ako aj R134a v klimatizačnom rozsahu a v stredno a v nízkoteplotnom rozsahu chladivá R404A a R507.

V súčasnosti R22 plní tzv. premostujúcu úlohu –stále sa používa i pri výrobe nových chladiacich zariadení pre chladiaci i klimatizačný rozsah. Na Slovensku je len veľmi málo prípadov, kedy sa pre klimatizačné zariadenie použilo chladivo R407C.

Chladiace zariadenia s R22 majú vysoký objemový chladiaci výkon, sú spoľahlivé a majú dlhú životnosť. Sú s nimi dlhodobé vynikajúce skusenosti z každej oblasti chladiacej techniky. Kompresor pôvodne dimenzovaný pre R12 v danom rozsahu výparovacích a kondenzačných teplôt ako aj elektrického napätia sa nemôže bez úprav použiť na prácu s R22 za tých istých prevádzkových podmienok.

R407C

Je zložené z netoxických chladiv R134a (60%), R125 (10%) a R32 (30%) a je náhradou za R22. Je to zeotrop, má veľký teplotný sklz 5 až 7 K. Na trhu sa už predávajú kompresory na R407C. Pre takéto kompresory sa používa esterový olej. $ODP=0$, GWP je nižší ako pri R22.

Používa sa pre klimatizačné zariadenia. Zložky chladiva R407C vrú pri rôznych teplotách, to znamená, že vyparovanie a kondenzácia sa sice deje pri konštantnom tlaku, ale s daným (*vyššie uvedeným*) sklzom teploty začatia vyparovania, resp. kondenzácie oproti koncu kondenzácie resp. vyparovania. Táto nepriaznivá skutočnosť znamená možnosť odmiešania prchavej zložky chladiva R407C. Preto plnenie takéhoto chladiva sa robí v kvapalnej fáze do chladiaceho systému. Vo výmenníkoch sa uprednostňuje protiprúd. Vyžaduje sa precízne nastavenie prístrojov. Posun koncentrácií v zmesi nie je možné stanoviť jednoduchou technikou. Problémy, ktoré môžu vzniknúť, sú v prevádzke a v servise chladiacich zariadení s R 407C. So zariadeniami, ktoré majú chladivo R 407C, nie sú zatiaľ dostatočne skusenosti. Možno naše skusenosti po 3-ročnej prevádzke týchto zariadení budú pozitívnejšie ako naše dnešné kritické stanoviská.

Amoniak (*NH₃*)

Má nulový potenciál porušovania ozónu ($ODP=0$) a nulový skleníkový efekt ($GWP=0$). Očakáva sa, že sa konštrukcia a výroba chladiacich a klimatizačných zariadení s týmto chladivom rozšíri i na nižšie chladiace výkony. Toto chladivo prežíva renesanciu a zatiaľ je spodná, dosiahnutá hranica chladiaceho výkonu 8 kW.

Amoniak je jednou z náhrad za chladivo R22. Oproti kompresorom na R22 majú amoniakové kompresory menšie rozmery, amoniak má vysokú objemovú chladivosť. Vyšší chladiaci faktor prináša výrazné energetické úspory. Používa sa v chladiacich zariadeniach na chladenie skladov, chladiarní, mraziarní, pri výrobe piva, pri chladení mlieka v mliekarniach, atď.

Ak rozdiel kondenzačnej teploty t_k a vyparovacej teploty t_0 presiahne hodnotu 50, potom sa použije dvojitupňový chladiaci okruh s parným obehom amoniaku. Chladiace zariadenia s amoniakovými piestovými kompresormi majú vysoký chladiaci faktor a dlhú životnosť.

Medzi nevýhody tohto chladiva sa rátajú jeho jedovatosť, vysoká teplota adiabatického stlačenia a nerozpustnosť s bežne používanými mazacími olejmi, ako aj neobmedzená rozpustnosť s vodou. Medzi nevýhody sa môže zaradiť aj to, že amoniakové chladiace zariadenia sa napriek mnohým pokusom nepodarilo významne rozšíriť v životnostenskom chladení.

8.3.2 Tendencia-používať chladivá a okruhy s čo najmenším množstvom chladiva

Množstvo chladiva v chladiacich zariadeniach sa môže znížiť týmito konštrukčnými a projekčnými opatreniami :

- a) Použitím vhodného chladiva
- ◆ Použitím R134a ako náhrady za R12, sa znížila náplň v chladičkách pre domácnosť asi o 10 %, pričom obeh chladiva R134a cez chladiaci okruh sa znížil asi na 80 %. Preto bolo potrebné zvýšiť odpor kapilárnej rúrky.
- ◆ Použitím izobutánu sa znížilo množstvo chladiva oproti R12 asi o 60 %. Kapilárna rúrka zostáva oproti R12 systému bez zmeny, to znamená, prietok sa nemení.
- ◆ Pri amoniakových okruhoch sa náplň chladiva berie asi 2 kg na 10 kW chladiaceho výkonu.
- b) Uprednostnením kapilárnej rúrky pred expanzným ventilom

Ak sa použije ako škrtiaci orgán kapilárna rúrka, je nevyhnutné použiť hermetický chladiaci systém s hermetickým kompresorom. Pri kapilárnej rúrke vychádza množstvo chladiva v systéme malé. Výrobcovia chladiacich a klimatizačných zariadení stále vo väčšej miere používajú na riadenie prietoku chladiva kapilárnu rúrku. Takáto regulácia je dnes bežná do chladiaceho výkonu $Q_0 = 10 \text{ kW}$.
- c) Použitím nových konštrukcií výmenníkov tepla

Stále vo väčšej miere sa používajú doskové výmenníky tepla. Používajú sa ako výparníky, kondenzátory, dochladzovače, predkondenzátory, atď. Ich použitím dochádza k významnému zníženiu množstva chladiva v chladiacom okruhu. Používajú sa pri všetkých chladiavách, vrátane amoniaku. V dôsledku turbulencie v kanáloch výmenníka dochádza k turbulencii a k tzv. samočistiacej schopnosti výmenníka. Tým sa výmenník nezanáša nečistotami v okruhu.
- d) Použitím blokových chladiacich zariadení

Významné zníženie dávky chladiva v chladiacom zariadení nastane pri nepriamom chladení ak sa použije bloková chladiaca jednotka vyrobená priamo vo výrobnom závode. Tento spôsob sa používa pri rozvoде chladu do viacerých zdrojov a na väčšie vzdialenosti. Kompaktné blokové chladiace zariadenie vyrobené nahoto vo závode, naplnené chladivom, odskúšané na pevnosť a tesnosť, má malé množstvo chladiva v porovnaní s priamym systémom za inak rovnakých prevádzkových podmienok. Dosahuje sa úspora chladiva až 80%, čo v kilogramovom vyjadrení, v rozvetvenom systéme, pri použití fan-coilov,

rozmiestnených napr. vo výškovej budove, predstavuje veľké úspory. Na druhej strane, podstatne menšou náplňou a chladiacou jednotkou umiestnenou napr. v strojovní sa zamedzí úniku chladiva do miestnosti, kde sa vyskytujú ľudia.

8.3.3 Tesné chladiace systémy

Pre malé chladiace zariadenia s malými náplňami chladiva sa používajú hermetické systémy. Hermetické chladiace systémy sa používajú vždy vtedy, keď ako škrtiaci orgán sa použije kapilárna rúrka. Je snaha hermetizovať aj systémy s vyšším chladiacim výkonom. Regulačné prvky ako TEV, magnetické ventily, prízerníky chladiv, filter-dehydrátory, guľové uzatváratele ventily atď sú na trhu v spájkovacom alebo zváracom prevedení do veľkých výkonov.

Uplatňovaním Montrealskeho protokolu a jeho dodatkov sa stanovila predpismi v jednotlivých krajínach povinnosť robiť záznamy o únikoch chladiva, robí sa kontrola a vyhodnocovanie únikov chladiva z okruhu. Pri opakovanom úniku vystupuje meno opravára, ktorý robil montáž alebo servis na uvedenom zariadení. Užívateľ pri stredných a väčších chladiacich zariadeniach uzatvára servisnú zmluvu so servisnou organizáciou na dlhšie obdobie o trvalom servise s pravidelnými kontrolami.

Z uvedených dôvodov, ale aj z cenových dôvodov (*cený chladiv stúpili*) sa stále viac používajú hermetické chladiace systémy s hermetickými, respektíve polohermetickými kompresormi. Všade, kde je to možné, sa nahrádzajú rozoberateľné kalíškové spoje spájkovanými, resp. zváracími spoji. Cu rúrky sa spájajú striebornou spájkou s obsahom striebra 15%, prípadne fosforovými spájkami (*spoje pri fosforovej spájkke nesmú mať chvenie*). Všetky celky a spájkované a zvárané spoje (*zvárané spoje napr. telesá plášťov hermetických kompresorov, telesá ventilov na zberačoch*) sa kontrolujú na pevnosť a potom i na tesnosť najkôr tlakovaním (*na hrubý únik*) a potom detektorom. Detektorom sa robí kontrola na mieste montáže, resp. servisu. Pre každé chladivo sú na trhu vhodné detektory úniku chladiva.

Chladiaci výkon hermetických chladiacich zariadení sa posúva neustále k vyšším chladiacim výkonom. Významne tomu dopomohla konštrukcia tzv. združených jednotiek, ktorými sa hermetické okruhy dostali až na 100 kW. Sú však známe hermetické prevedenia skrutkových kompresorov, ale i turbokompresorov, ktoré však mnohokrát sú v chladiacich okruhoch nevyužitú, keď sa elementy spájajú prírubovými netesnými spoji.

Chladiaca technika rozlišuje medzi :
- zariadeniami uzavretými,
- zariadeniami trvale uzavretými.

Z tohoto hľadiska, ak uvažujeme pri výbušnom chladive v systéme (*napr. chladivo propán, resp. izobután*) s ochranou pred výbuchom, je podstatný rozdiel, aký kompresor projektant použije či hermetický alebo upchávkový (*otvorený*). Hoci upchávkový kompresor patrí do zariadení uzavretých, podľa bezpečnostných pravidiel sa táto koncepcia posúdi z hľadiska ochrany pred výbuchom ako systém, ktorý trvale nemôže zabezpečiť technickú tesnosť. Ak má chladiace zariadenie hermetický kompresor, alebo polohermetický kompresor, ide o trvale uzavretý systém, ktorý má týmto riešením zabezpečenú trvale technickú tesnosť. Samozrejme, že okrem kompresoru v prípade použitia výbušného chladiva v systéme sa musia použiť spájkované alebo zvárané spoje pri všetkých regulačných a indikačných členoch. Spoje musia byť pri spájkovaní urobené tvrdou spájkou.

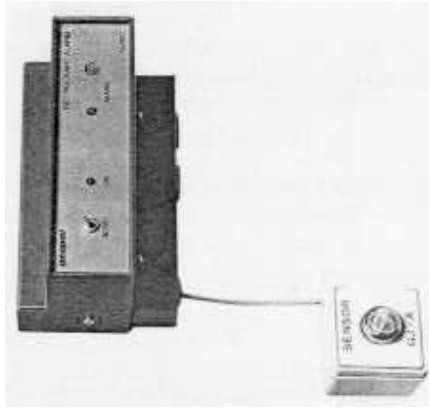
Toto je výklad pripravovanej normy DIN EN 378 diel 2., ktorá má nahradiť normu DIN 8975 diel 1 až 10:

„Kälteanlagen: Sicherheitstechnische Grundsätze für Gestaltung, Ausrüstung und Aufstellung“.

Pri chladiacich zariadeniach, ktoré majú zeotropické chladivo (to znamená chladivo má sklz, napr. R 407 C), za konštantnej teploty a tlaku, zostáva v chladiacom zariadení, v kvapalnej alebo plynnej fáze, vždy v konštantnej koncentrácii zmesi (za predpokladu, že nenastal únik chladiva). Ukazuje sa, že pre odmiešanie zmesi sú najbezpečnejšie výmenníky tepla, alebo aj spoj expanzného ventilu (orgánu) s výparníkom.

Absolútna netesnosť neexistuje. Často sa hovorí o tzv. nevyhnutných netesnostiach. Pri veľkých zariadeniach je táto nešpecifikovaná, ale pri chladičkách pre domácnosť sa ráta na hodnotu pod 0,2 % v priebehu 5 rokov. V našich podmienkach je v prevádzke ešte veľké množstvo chladiacich zariadení s chladivami CFC (napr. s chladivom R12, resp. R502), ktorých prevádzkový stav z hľadiska netesnosti by sa mal pravidelne kontrolovať, hlavne vtedy, ak ide o nehermetické systémy.

Plniace množstvá v chladiacich okruhoch by mali byť čo najmenšie, s väčším množstvom pribúda pravdepodobnosť, že pri netesnosti chladivo unikne. Týka sa to hlavne zariadení, ktoré majú rozvetvený systém a taktiež aj združených chladiacich jednotiek. Len veľmi málo chladiacich zariadení je vybavených automatickou kontrolou úniku, ktorá vypne zariadenie a spustí poplach, len čo hlásiče netesnosti zareagujú na chladivá, pozri obrázok 8-21.



Obrázok 8-21 Detektor na trvalé monitorovanie úniku chladiva z chladiaceho zariadenia na pevnú inštaláciu, vrátane poplachovej funkcie

Detektor je ciachovaný na 500 resp. 1000 ppm, vhodný je pre strojovne a chladivá R22, R23, R502, R12, R134a, R142b a R152a. Na požiadanie je možná aj vyššia citlivosť. O úniku sa robí záznam a vydá sa akustický alebo optický signál. Nastavuje sa na kolísanie el. siete, poškodenie prístroja nie je možné. Pri poruche prístroja hlási poruchu.

Za neskorý zásah servisu pri včasnom nahlásení úniku sa v USA platia veľké pokuty (až 40.000 USD) v prípade,

že servis príde neskoršie ako za 24 hodín po nahlásení netesnosti.

V prípade, že zariadenie ide na zošrotovanie, potom pri vákuovacích zariadeniach sa ide s tlakmi (pri teplote okolia 20°C) na tieto tlaky:

0,2 bar (podtlak) v zariadeniach s objemom menším ako 0,2 m³
0,3 bar (podtlak) v zariadeniach s objemom väčším ako 0,2 m³

Pri vákuovaní sa nikdy nepoužíva kompresor. Kompresor nie je vákuové čerpadlo. Pri tak nízkom tlaku je problematické chladenie vinutia elektromotora (pri hermetických a polohmetických kompresoroch) a taktiež veľkým zriedením plynu môže pri nízkom vákuu vzniknúť ionizované prostredie s nasledným skratom motora cez prechodky v kompresore. To by znamenalo likvidáciu hermetického kompresora.

Keď sa hľadá netesnosť chladiaceho systému, je potrebné naplniť systém určitou dávkou chladiva. Toto naplnenie množstvo sa nedá už získať späť pretože unikne, resp. jeho časť.

Ak sa musia odviesť tzv. nekondenzovateľné plyny, spolu s nimi sa dostávajú do atmosféry aj podiele chladiva. V európskych krajinách nie je ešte na to vypracovaná norma, avšak v USA sa hovorí o max. podielech objemu chladiva 3 až 5 % v odvetrovanom plyne.

Skúšaný objekt je tesný, ak sa neprekročí dovolená netesnosť. Pre chladiace okruhy s hermetickými a polohmetickými kompresormi majú v zhode s DIN 8975 definovanú požiadavku na tesnosť dielov na chladiace okruhy takto:

Pri skúšobnom tlaku 10 bar a skúšobnom médiu hélium nesmie byť prekročená maximálna netesnosť 640 · 10⁻⁶ Pa l/s He, 1,5 g R 12 za rok, 1,3 g R134a za rok. Neexistuje však v normách výklad, čo je tesný a čo netesný systém. Chýbajú všeobecné smernice pre údržbu, ako závažné normy, ktoré upravujú údržbu každého chladiaceho zariadenia za rok, rovnako ako rozsah údržby a predovšetkým chýba norma, ktorá definuje z ekologického hľadiska nutné skúšky tesnosti chladiaceho okruhu s cieľom zamedziť nadmernej emisii a nadmernej spotrebe elektrickej energie.

Za tým účelom je potrebné:

- ◆ stanoviť dovolené netesnosti pre všetky druhy chladiacich zariadení,
- ◆ stanoviť povinnosť vykonávať predpísané skúšky v priebehu roka,
- ◆ uzavrieť dohody o povinnej údržbe, ktoré by okrem iného predpisovali aj skúšky tesnosti,
- ◆ zlepšiť technologické predpoklady pre vyhládavanie netesností, resp. skúšky tesnosti chladiacich zariadení pri montáži v teréne.

Povinnosťou výrobcu je zabezpečiť, aby sa skúšky tesností robili so stavom dnešných vedomostí, aby výrobcovia zakotvili v podmienkach záruky povinnosť kontrolovať tesnosť chladiacich zariadení s tým, že zatiaľ nie je záväzný zákonný predpis na vyhládavanie netesností.

Ak netesnosť nebude pod kontrolou, môže ohroziť funkciu zariadenia. Skúška tesnosti sa robí z týchto dôvodov:

- ◆ náplň chladiva v systéme musí byť zachovaná,
- ◆ straty chladiva predlžujú dobu chodu chladiaceho zariadenia,
- ◆ môžu vzniknúť straty v dôsledku zastavenia chladiacej funkcie chladiaceho zariadenia.

Podľa podkladov Spolkového učilišťa chladiacej a klimatizačnej techniky v Nemecku sa v zhode s normou DIN 8964 navrhujú výstupné hodnoty netesnosti pre rozoberateľné spoje:

- ◆ 10 g za rok pre rozoberateľné spoje o priemeru potrubia menšom ako 25 mm,
- ◆ 50 g za rok pre rozoberateľné spoje o priemeru potrubia väčšom ako 25 mm.

Odporiča sa však tieto hodnoty znižovať.

Používajú sa tieto skúšky:

- ◆ statická skúška tlakom dusíka vo vode,
- ◆ test pomocou mydlových bublín,

- ♦ *vyhládavanie netesnosti halogénovou lampou,*
- ♦ *použitím kalibrovanej elektronickej detektoru,*
- ♦ *použitím héliového detektoru a prenosného plynového indikátoru (sondy).*

Statická skúška

Výmenník tepla, resp. kompresor sa natlakuje suchým dusíkom a ponorí do nádoby s ohriatou vodou (asi 30°C). Je to hrubá skúška tesnosti a preukázateľná citlivosť je asi 50 kg vysušeného dusíka za rok. Ekvivalentné množstvo chladiva je potom 300 kg za rok pre R12, 250 kg za rok pre R134a a 50 kg za rok pre amoniak.

Skúška pretlakom alebo vákuom

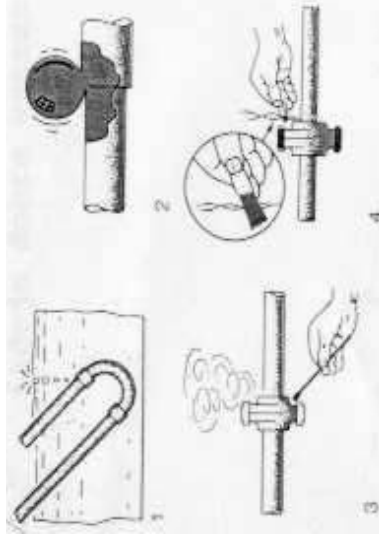
Používa sa pri servisných opravách chladiacich zariadení alebo ich časti. Chladivo sa naplní do systému v predpísanom množstve. Potom sa zmeria tlak pri teplote okolia. Po určitej dobe, napr. po 24 hod., sa znovu zmeria tlak za rovnakej teploty okolia. Z poklesu tlaku sa potom usudzuje na veľkosť netesnosti. Podobne sa postupuje pri podtlaku: chladiaci okruh sa vyvakuje a po 24 hodinách sa kontroluje zmena vákuu. Kontrola tlakov sa robí pri týchto skúškach manometrom, resp. vákuometrom. Dokázateľný únik pri týchto dvoch skúškach je 10^{-2} až 10^{-3} mbar l/s.

Skúška pomocou mydlových bublín

Je presnejšou metódou ako statická skúška, ale nie je ju možno priradiť ku presným skúškam. Použije sa suchý dusík a preukázateľná citlivosť pre zistenie celkovej netesnosti je asi 50 kg za rok. V prepočte na R12 by bola netesnosť 300 kg za rok, pri R134a 250 kg za rok a pri amoniaku 50 kg za rok. Pozri obrázok 8-22/1.

Skúška halogénovou lampou

Je jednou z najstarších metód. Po zapálení liehu a priložením hadičky na predpokladané miesto sa sfarbí plameň. Pri malom úniku chladiva sa sfarbí do zelena, pri veľkom úniku do modra. Pomocou tejto lampy je možno zistiť únik veľkosti od 50 do 300 g za rok (to znamená približne 1 g za deň).



Obrázok 8-22

Skúška únikov z chladiacich zariadení

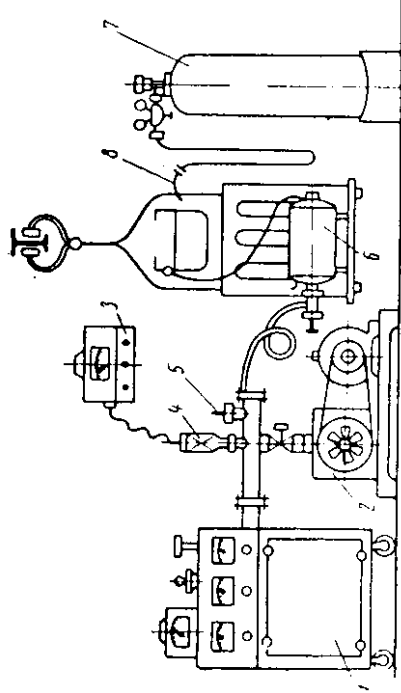
- 1 – statická tlaková skúška, skúšaný diel ponorený vo vode pod tlakom dusíka,
- 2 – skúška mydlovými bublinami,
- 3 – skúška úniku NH₃ pomocou sírovej zápalky,
- 4 – skúška lakmusovým papierom, červený lakmusový papier sa sfarbí na modro.

Skúška elektronickej detektorom

Na trhu je dostatok týchto typov detektorov. Indikujú úniky chladiv R12, R22, R502, R134a, R404A a ďalšie. Sú káblové i bezkáblové (na batérie). Dajú sa snímať i úniky v kontaminovanej atmosfére. Nevytvárajú žiadne nebezpečné alebo jedovaté plyny. Hrot sondy sa opotrebovávajú a časom sa musí vymeniť. Preukázateľná citlivosť pre zistenie celkovej netesnosti je 0,2 ž 20 g za rok u R12 alebo R134a.

Skúška pomocou héliového detektoru

Tento prístroj sa používa v podmienkach sériovej výroby chladiacich zariadení. Dosahuje s ním vysoká presnosť 0,1 až 10 g za rok resp. 0,07 až 7 g R134a za rok alebo 0,02 až 2 g NH₃ za rok. Táto metóda vyžaduje dobre vetranú miestnosť.



Obrázok 8-23 Héliový detektor, používaný vo výrobe chladiacich zariadení

Metóda ofukovania spojov. Legenda: 1 – detektor, 2 – vákuovacie čerpadlo, 3 – vákuometer, 4 – lamp, 5 – etalón, 6 – kontrolovaná chladivacia jednotka, 7 – fľaša s héliom, 8 – ofukovacie zariadenie

Netesnosť určujú v chladiacich zariadeniach: tlak, hustota a viskozita. Okrem toho aj veľkosť molekúl chladiva. Čím väčšia je molárna hmotnosť, tým menší je sklon k netesnostiam. Tak napr. chladivo amoniak (R717) má podstatne menšiu molárnu hmotnosť (17 g/mol) v porovnaní s molárnou hmotnosťou R22 (86,48 g/mol). Znamená to, že úniky amoniaku budú pri menších netesnostiach väčšie. Molárna hmotnosť chladiva R134a je 102,03 g/mol, R12 je 120,92 g/mol. To znamená, že R134a dosahuje za inak rovnakých podmienok väčšie úniky ako R12.

Keďže pri únikoch ide o najmenšie prierezy, nenastáva turbulentné ale len laminárne alebo molekulárne prúdenie. Pri molekulárnom prúdení je unikajúce množstvo priamo úmerné tlaku, pri laminárnom prúdení je unikajúce množstvo úmerné druhej mocnine tlaku. Príčinou netesnosti sú póry a jemné rýsky v materiáloch, zvarovacích švoch, spájkovacích spojoch, skrutkových spojoch, upchávkach ventilov, v tesneniach a meracích prístrojoch. Mnohokrát bývajú príčinou únikov zle zavalované rúrky v aparátoch.

Skúške tesnosti pri výrobe chladiacich zariadení alebo ich časti (kompresor, kondenzátor, výparník, stredotlaková nádoba, zberač chladiva, atď), predchádza skúška pevnosti, tlaková skúška.

Skúška pevnosti (tlaková skúška)

Používa suchý vzduch (teplota vzduchu 120 °C, rosny bod – 40 °C), alebo suchý inertný plyn napr. suchý dusík s dovoleným skúšobným tlakom. Dovoľené skúšobné tlaky vyplývajú z týchto faktorov:

- ♦ *pri akej teplote okolia bude chladivacie zariadenie alebo jeho časť pracovať,*
- ♦ *uvážuje sa možnosť vzniku neskonzenzovateľných plynov,*

- ◆ pri mnohých zariadeniach sa odmrazuje vyparník pomocou automatického odmravovania,
- ◆ uvažuje sa, či je zariadenie určené len na chladenie, alebo či pracuje aj ako tepelné čerpadlo,
- ◆ uvažuje sa, či bude kondenzátor vystavený snežnému žiareniu (kondenzátor umiestnený na streche),
- ◆ uvažuje sa aj vplyv znečistenia výmenníkov tepla.

Chladiace zariadenia sú konštruované pre:

- normálne teploty, tzn. do 32 °C,
- tropické teploty, tzn. do 43 °C.

Tlaky, ktoré sa potom používajú pri skúške pevnosti ako minimálne, vyplývajú z minimálnych konštrukčných teplôt všeobecne pre chladiace zariadenia. Hodnoty minimálnych konštrukčných teplôt pre chladiace zariadenia, z ktorých sú odvodené minimálne skúšobné tlaky pre skúšku pevnosti sú uvedené v tabuľke 3.

Tabuľka 3 Minimálne dovolené konštrukčné teploty chladiacich zariadení

Teplota okolia	32 °C	43 °C
Vysokotlaká strana so vzduchom chladeným kondenzátorom	55 °C	63 °C
Vysokotlaká strana s vodou chladeným kondenzátorom	43 °C	43 °C
Nizkotlaká strana	32 °C	43 °C

Za skúšobný pretlak pre skúšku pevnosti (tlaková skúška) sa určuje pretlak zodpovedajúci minimálne 1,0 násobku, maximálne však 1,3 násobku dovolenej prevádzkovej teploty (podľa EN 378, časť 5). Podľa našich noriem platí 1,5 násobok prevádzkovej tlaku, ktorý zodpovedá minimálne dovoleným teplotám podľa tabuľky 3.

Teploty v tabuľke 3 sú vyššie ako teploty, ktoré sa dosahujú v chladiacom zariadení v čase pokoja. Teploty zariadenia za pokoja sú minimálne teploty a určujú minimálne tlaky, ktoré sú v potrubíach, tlakových nádobách a časti výstroja zariadenia.

Celé zariadenie sa môže rozdeliť na viaceré časti, pričom každá časť zariadenia môže mať iný dovolený prevádzkový pretlak.

Pretlak, ktorý sa v zariadení (alebo jeho časti) obvykle vyskytuje v prevádzke, je nižší ako dovolený prevádzkový tlak. V niektorých krajinách miestne normy vyžadujú skúšanie (pri skúške pevnosti) hydraulickou skúškou pomocou vody, alebo pomocou oleja. V takýchto prípadoch sa už pri konštrukcii uvažuje s odsávacími a sušiacimi postupmi.

Tlaková skúška sa spravidla využíva súčasne ako skúška tesnosti.

8.3.4 Dôležité technologické postupy pri montáži

Pri montáži chladiacich jednotiek, kompresorov, kondenzačných jednotiek, ako aj rôznych aparátov a nádob, je dôležité aby tieto boli uložené a namontované, resp. pospájané do chladiaceho okruhu tak, že v dôsledku chvenia kompresora nevzniknú netesnosti spojov, trhliny v potrubí, resp. poškodenie regulačných prístrojov spojené s únikom chladiva.

Je známe, že hluk chladiaceho zariadenia sa skladá z týchto zložiek:

- ◆ hluku prenášaného vzduchom,
- ◆ pulzácie plynného chladiva,
- ◆ chvenia (vibrácií).

Zdrojom uvedených troch zložiek je pohyb pohonného mechanizmu kompresora pri jeho práci v chladiacom zariadení. Hluk, pulzácie a chvenie chladiaceho zariadenia sú rôzne pri chode naprázdno, pri pracovnom cykle a pri rozbehu.

Chladiace zariadenie za inak rovnakých konštrukčných a montážnych podmienok bude mať rôznu hlučnosť, chvenie, resp. pulzácie, ak v okruhu bude pracovať turbokompresor, resp. skrutkový kompresor, špirálový kompresor alebo piestový kompresor. Tak napríklad vytlačenie plynu z turbokompresora, skrutkového kompresora, či špirálového kompresora je rovnomerné a pulzácie sú tak malé, že nespôsobujú zvýšenie hlučnosti, samozrejme pri dodržaní ostatných zásad montáže potrubí a jednotlivých členov okruhu.

Chvenie piestového kompresora

Úplne iné hlukové charakteristiky má piestový kompresor. V dôsledku zodpovedajúcej frekvencie nasávania a vytlačania jednotlivých valcov pulzuje chladiivo v potrubíach a veľkosť pulzácie je závislá od počtu valcov. Chvenie škodlivo pôsobí na vlastné chladiace zariadenie, ale aj na konštrukciu budovy, v ktorej chladiace zariadenie pracuje. Pulzácie plynu nastávajú aj pri rotačných kompresoroch, ktoré majú oproti hermetickým piestovým, resp. špirálovým kompresorom tú konštrukčnú nevýhodu, že sacia rúrka ústi priamo do valca kompresora, to znamená motorkompresor je pevne uložený v plášti a hoci motorkompresor s plášťom je uložený na ráme pomocou tlmiacich podložiek, vykazoval by vyššie chvenie, ako hermetické piestové kompresory. Z toho dôvodu tlmenie chvenia pri rotačných kompresoroch sa dosahuje na výtlaku pomocou vhodných ohybov výtlacnej rúrky.

Pri piestových kompresoroch okrem silnej pulzacej zložky kompresor kmitá vplyvom nevyvážených rotačných a posuvných hmôt. Tento problém je najväčší pri jednoválcových kompresoroch, ktoré sa nedajú úplne vyvážiť. Pri hermetických piestových kompresoroch asi do 300 W je však možné nájsť, pri uložení motorkompresora v plášti na 4 tlačných pružinách, tzv. rovinu pokoja, do ktorej výrobca potom ukladá všetky štyri tlačné pružiny. Výsledkom je kompresor, ktorý prakticky na plášti nemá žiadne chvenie. Uvedeným uložением štyroch tlačných pružín sa zložka pulzácie plynu neovplyvní. Výrobcom kompresorov ovplyvňujú pulzácie zabudovanými tlmičmi (v hermetických kompresoroch), alebo ich zabudovávajú zvonka kompresora (napr. rotačný kompresor s valivým pohybom piestu).

Hluk a vibrácie kompresorov sa potom šíria ďalej na celé chladiace zariadenie (skriňu chladiaceho zariadenia resp. budovu v ktorej chladiace zariadenie pracuje) týmito cestami:

1. vzduchom,
2. základovým rámom, pevnými, resp. pružnými základmi,
3. sacím (sacimi) a vytlačným (vytláčnym) potrubím (potrubiami),
4. plynným (kvapalným – vyskytuje sa) chladivom a olejom, ktoré cirkulujú v okruhu.

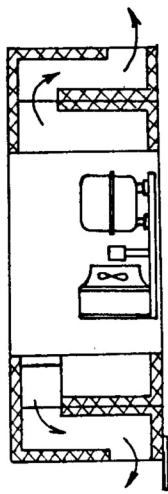
Je zaujímavé, že montér je niekedy postavený pred úlohu znížiť hlučnosť a chvenie na nedávno dodanom a namontovanom chladiacom zariadení. Inokedy je potrebné vymeniť kompresor a nahradiť ho novým, ktorý nie je vždy rovnakého typu ako pôvodný kompresor. Úlohou pre montéra je dosiahnuť nízku hladinu hluku a vibrácií. Vzhľadom na vyššie uvedené sa to robí:

- ◆ izoláciou priestoru, v ktorom je umiestnená kondenzačná jednotka,
- ◆ použitím tlmiacich podložiek medzi rám kompresora, kondenzačnú jednotku a vlastný kompresor alebo kondenzačnú jednotku, resp. uloženie základového rámu (so strojom) na pevný odpružený základ, alebo na pružný základ podľa rozhodnutia projekčnej kancelárie,
- ◆ umiestnením upevňovacích bodov potrubí v blízkosti ohybov rúriek, resp. použitím amortizátorov chvenia,
- ◆ znížením pulzácie plynu použitím tlmičov, ktoré sa často zabudovávajú do zariadenia na želanie zákazníka.

8.3.4.1 Zníženie hluku, šíriaceho sa z kompresora vystlaním stien chladiacej skrine tlmiacim materiálom resp. vložním krytu

Na obrázku 8-24 je znázornený spôsob tlmienia hluku kondenzačnej jednotky v chladiacej skrini chladiaceho nábytku pomocou kombinovaných prieťahodov chladiaceho vzduchu pre kondenzátor. Účinnosť: pre frekvencie nad 1000 Hz.

Taktiež sa využívajú tlmiace materiály na vystlanie stien skrine, v ktorej je umiestnený kompresor alebo kondenzačná jednotka. Tento spôsob sa používa pri chladiacich výkonoch do 30 kW.



Obrázok 8-24 Tlmenie hluku v skrini chladiaceho nábytku (v oddelení pre kompresor) s kombinovanými prieťahodmi.

8.3.4.2 Uloženie stroja na základ alebo základový rám

Uloženie chladiaceho stroja (kompresor, kondenzačná jednotka, bloková jednotka) na základ je dôležité hlavne pri piestových kompresoroch najmä vtedy, ak nie sú dobre vyvážené. Robí sa to pri kompresoroch a strojoch od stredných výkonov vyššie. Priebeh zotrvačných síl, ako aj síl od pulzácií plynov je cyklický a preto sú vibrácie vynútené. Eliminujú sa základmi tak, aby sa chvenie neprenášalo na skriňu alebo na budovu a aby sa chvenie udržalo v technických medziach.

Pri chladičkách a chladiacom nábytku sa používajú tlmiace podložky podľa obrázku 8-25. Vkladajú sa medzi rám kompresora (medzi pátku kompresora) a rám chladiacej skrine, pozri obrázok 8-26. Tlmiace podložky v týchto prípadoch bývajú štyri. Upevňovacie skrutky bývajú privarované na ráme skrine chladiaceho nábytku.

Tlmiace podložky pre kompresory malých výkonov by nemali mať väčšiu tvrdosť ako Shore A. Pri použití gumených tlmiacich podložiek sa útlm dosiahne vtedy, ak pomer vlastnej frekvencie kompresora f_0 a budiacej frekvencie f (frekvencia, ktorá sa má utlmiť) je 1/3 alebo aspoň 1/2,5. Platí:

$$f_0 = \frac{1}{3} \cdot f \quad \text{resp.} \quad f_0 = \frac{1}{2,5} \cdot f \quad \sqrt{\frac{c_1}{m}}$$

kde: $c_1 = G/z$ a $G = m \cdot g$

c_1 – tuhosť tlmiacej podložky od tiaže G kompresora

m – hmotnosť kompresora (kg)

g – gravitačné zrýchlenie ($m \cdot s^{-2}$)

z – prieťahb tlmiacej podložky vo svísom smere (m)

Vyššie uvedený vzťah platí len pre posuvný pohyb v smere zvislej osi kompresora. Čím je deformácia tlmiacej podložky väčšia, to znamená, čím je tlmiača podložka mäkkšia, tým je nižšia hodnota vlastnej frekvencie f_0 kompresora uloženého na tlmiacich podložkách.

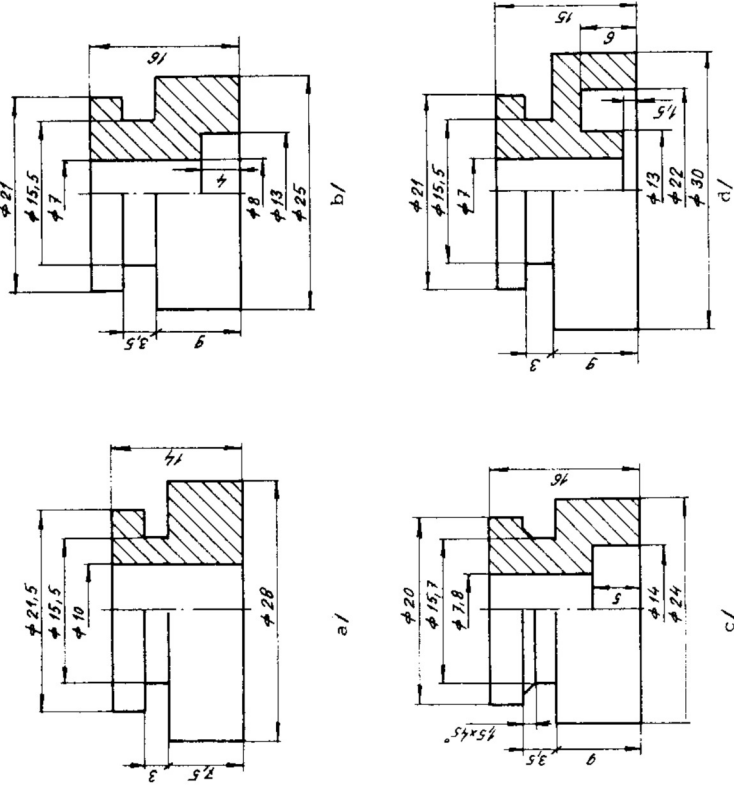
Z vyššie uvedeneho vyplýva, že pôvodné tlmiace podložky sa môžu vymeniť za iné len vtedy, ak ich použijeme s dosiahne približne rovnaká, alebo nižšia vlastná frekvencia f_0 .

Tlmiace podložky musia byť v rovine a svojimi zárezmi musia zapadnúť do pátky kompresora.

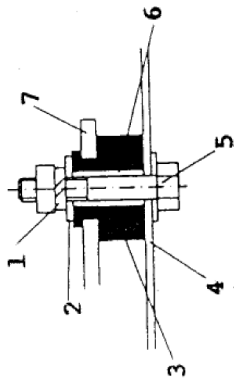
Vlastná frekvencia uloženia kompresora f_0 by mala byť dostatočne vzdialená od budiacej frekvencie f , aby sa zamedzilo vzniku rezonancie.

Pri stredných chladiacich strojoch sa kompresor, resp. viac kompresorov ukladá pomocou tlmiacich podložiek na spoločný rám. Takto sa montujú jednotky s hermetickými alebo polohermetickými kompresorami aj spolu s pomocnými zariadeniami (odlúčovač oleja, výmenník tepla, atď.) na jeden spoločný rám už vo výrobnom závode. Podobne sa takto montujú turbokompresory spoločne s príslušenstvom na jednom základnom ráme. Kompresory sa montujú na základový rám pomocou tlmiacich podložiek, pozri obrázok 8-27, ktoré majú upevňovacie skrutky (pre pátku kompresora a pre základný rám) už zaliate v gumenom telese.

Základové rámy s kompresorami sa ukladajú na betónovú podlahu, na ktorú sa upevňujú skrutkami. Podlaha však musí byť v rovine a kontroluje sa vodováhou vo všetkých smeroch v horizontálnej rovine. Požiadavky výrobcov kompresorov na správnu funkciu mazania kompresorov stanovujú max. odchýlku od horizontálnej roviny 2° (niektorí 3°).



Obrázok 8-25 Tlmiace podložky hermetických kompresorov chladičiek a mrazničiek pre domácnosť (friem: a) Finomszerehvangár, b) Danfoss, c) Calex, d) Minsk)



Obrázok 8-26 Upevnenie kompresora na základovom ráme, alebo na ráme skrine pomocou tlmiačich podložiek

Legenda: 1 – pružná podložka, 2 – podložka, 3 – tlmiača podložka, 4 – základová doska, alebo rám skrine, 5 – upínacia skrutka, 6 – rozpinacia vložka, 7 – páčka kompresora. Každý kompresor musí byť namontovaný s použitím dodávaných silent-blokov. Odporúčajú dotahovací moment, ktorý udáva firma Maneurop pre upevňovacie skrutky svojich kompresorov je 15 Nm.

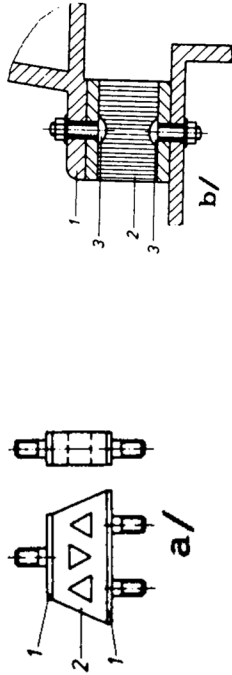
Chladiace stroje kompresory a rámy s kompresormi sa ukladajú :

1. na tuhý základ,
2. na odpružený základ.

ad 1. Stroje uložené na tuhom základe

Tuhým základom môže byť betónová podlaha strojovne, alebo betónový podstavec na streche, oddelený od budovy korkovou doskou, alebo vhodným tlmiacim materiálom. Tento spôsob uloženia sa používa pri ukladaní piestových otvorených kompresorov do výkonu asi 150kW. V takomto prípade vlastná frekvencia základu + nato namontovaného kompresora je jasne nad frekvenciou otáčania pohonného stroja. Musí však platiť, že nameraná efektívna rýchlosť chvenia na hornej strane základu nesmie prekročiť hodnotu $v_{eff} = 1,5 \text{ mm/s}$.

Základy musia byť zhotovené v rovine a plochy musia byť hladké. Platí, že: široký, plochý, betónový základ je vhodnejší z hľadiska útlmu chvenia (pri dodržaní rovnakej hmotnosti) ako vysoký a úzky. Doslova je tragédiou, že základy pod chladiace stroje a kompresory nerobia inžinierske organizácie (už v projekcii), ale zákazníci.



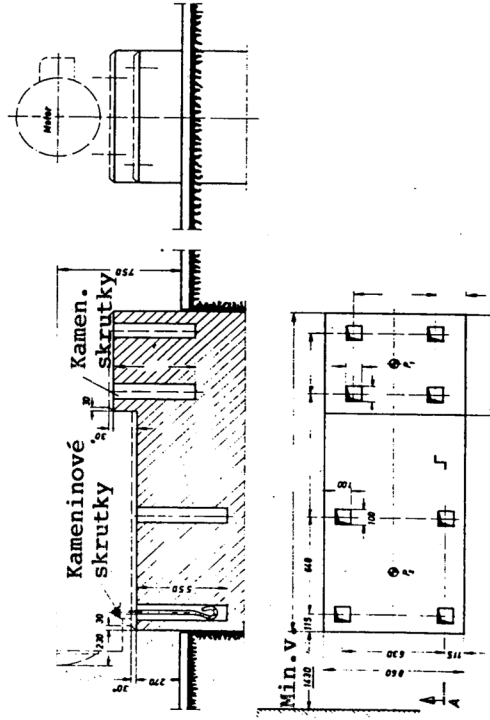
Obrázok 8-27 Tlmiače podložky používané na stredných a väčších kompresoroch

- a) rôzne tvary tlmiačich podložiek: 1 – podložky s upevňovacími skrutkami
2 – elastická časť tlmiacej podložky z gumy
- b) upevnenie rámu s kompresormi: 1 – základový rám stroja s kompresormi
2 – guma,

3 – upevňovacie skrutky zaliate v gume

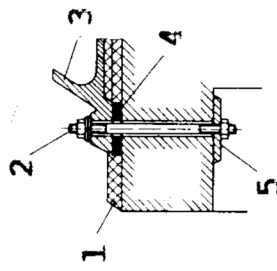
Na obrázku 8-28 je príklad tuhého základu pre otvorený piestový kompresor ako aj pre elektromotor, ktorý ho poháňa. V betóne sú predliate diery na kotviace skrutky kompresora (štyri) a pohonného elektromotora (štyri) obrázok 8-28. Skrutky sú kameninové, vkladajú sa do predliatých dier a zalievajú sa betónom, musia byť zaliate zvislo. Závit sa potrubí grafitom. Kompresor a motor sa ukladajú na oceľový plech hrúbky asi 20 mm, pričom plech musí prečnievať pátky kompresora asi 1 mm. Základ sa zasuľuje tak, aby horná hrana šalovania končila 3 až 5 mm pod oceľovou podložkou. Po zhotovení sa motor a kompresor uložia na základ a po zoraďení skrutiek sa tieto zalejú betónom. Kotviace skrutky môžu byť vyrobené aj ako odliatok z plastickej látky na báze epoxidovej živice. Tieto majú pevnosť a nepraskajú. Najnovšie sa kompresory a motory upevňujú pomocou skrutiek z cementu (z plastickej hmoty) na oceľovú dosku a táto sa potom prilepi na surový základ (napr. o betónovú podlahu).

Piestové kompresory väčších výkonov, turbokompresory a skrutkové kompresory sa ukladajú podľa obrázku 8-28. Uloženie skrutky, tzv. kotviacej skrutky sa robí podľa obrázku 8-29.



Obrázok 8-28 Konštrukcia betónového základu pre kompresor

Pre daný kompresor, pre budúcu možnosť jeho opravy je potrebné dodržať vzdialenosť (minimálna vzdialenosť). To je stanovené už v projekte.



Obrázok 8-29

Detail kotviacej skrutky základu

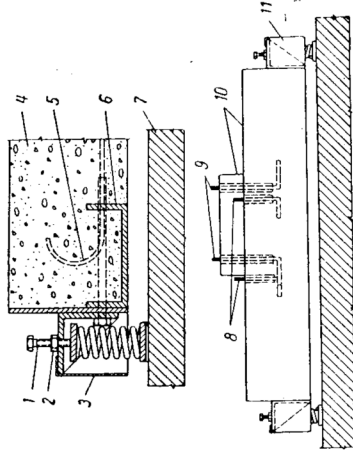
Legenda: 1 – odliatok, 2 – kotviaca skrutka základu, 3 – základový rám kompresora (kompresorov), 4 – plechová podložka, 5 – kotviaca doska

ad 2. Stroje uložené na odpruženom základe

V druhej polovici tohoto storočia sa začal proces znižovania hmotnosti a rozmerov kompresor zvyšovaním otáčok. Došlo tým aj ku výraznému zníženiu celkovej hmotnosti strojov a chladiacich zariadení a tým aj ku značnému zníženiu výrobných nákladov. Znížením hmotnosti a zvýšením otáčok kompresorov sa zvýšili nevyvážené sily, hlavne v piestových kompresoroch. Zotrvačné sily tu rastú so štvorcem rýchlosti otáčok. Pretože sú kompresory s menšou hmotnosťou, nie je možná absorbcia zotrvačných síl vlastným tlmením materiálu, resp. jeho dynamickou tuhosťou. Pri týchto moderných kompresoroch statické sily sú menšie ako dynamické sily. V dôsledku toho nastáva kmitanie hmoty kompresora, resp. jeho súčasti a v prípade, že sa nezvolia účinné konštrukčné opatrenia, dôjde k rezonancii a niekedy aj k poškodeniu resp. k havárii kompresora.

V prípade, že je na spoločnom ráme viac kompresorov a tento je uložený na streche, prenášajú sa rušivé sily na stavbu, ak táto nie je od rámu dostatočne odítená. Pretože kompreosty, uložené na ráme, nemajú presne zhodné otáčky, ale tieto sa málo líšia, nastávajú narastajúce alebo klesajúce rezonančné vibrácie. Kompresory vždy v takýchto prípadoch sú uložené na tlmiacich podložkách a sily od nevyváženia odstredivých síl a momentov sa znižia dynamickým pretváraním tlmiacich podložiek.

Ak rám, spolu s kompresormi, ktoré sú na ňom uložené, je uložený pružne, potom sa dosiahne systém odolný chveniu. Tento systém musí byť však tlmený a preto, aby sa chvenie udržalo v prípustných medziach, pridáva sa hmotnosť. Uskutočňuje sa to tak, že zostava kompresora (alebo zostava kompresorov na základnom ráme) sa na pevno montuje na základ (t.j. prídavnú hmotu) a tento spolu so základným rámom a kompresorom je voči stavbe odpružený, pozri obrázok 8-30.



Obrázok 8-30 Kompresor a elektromotor uložený pomocou prídavnej hmoty a pružín na betónovej podlahe

Legenda: 1 – závit upevňovacej skrutky, 2 – kontra matica, 3 – úložný priestor pre pružinu, 4 – základová doska pre kompresor, 5 – armovanie základu, 6 – výstuha, 7 – betónová podlaha, 8 – kotviace skrutky pre upevnenie kompresora, 9 – kotviace skrutky pre upevnenie elektromotora, 10 – základová doska pre uchytienie chladiaceho stroja, 11 – zostava pružín (sú celkom štyri)

Príklad

Na prídavnom základe je kompresor, resp. základový rám s kompresorom (kompresormi) uchytény pevne. Je nutné, aby bol pomer tzv. budiacej frekvencie f a vlastnej

frekvencie uloženia f_0 , to znamená $f/f_0 = 3$ až 5. Ak napr. by sme dali chladiaci stroj hmotnosti 60 kg na 4 pružiny, potom vlastná frekvencia tejto zostavy bude 44 Hz. Pri otáčkach 1000 /min. je frekvencia budiacej sily $f = 105$ Hz. Ak vypočítame pomer $f/f_0 = 105/44 = 2,4$ potom vidíme, že izolácia voči prenosu chvenia je nedostatočná. Dajme teda chladiaci stroj na betónovú prídavnú dosku (podľa obrázku 8-30) o hmotnosti 180 kg, potom vlastná frekvencia sústavy kompresora aj spolu s doskou bude 22 Hz. V tomto prípade je pomer výhodný: $f/f_0 = 5$.

Takto navrhnutý základ dáva dobré predpoklady pre útlm chvenia chladiaceho stroja. Návrh tlmiacich pružín (tlmiacich elementov) a prídavnej hmotnosti sa robí na základe matematických vzťahov a robí ho projektčná kancelária, resp. výrobca elementov chvenia. K tomu je často potrebné určiť vlastnú frekvenciu zostavy v zvislom smere, lebo táto je najčastejšie dominantná.

8.3.4.3 Zníženie hluku šíriaceho sa z kompresora chvením a pulzáciou

Amortizátory chvenia

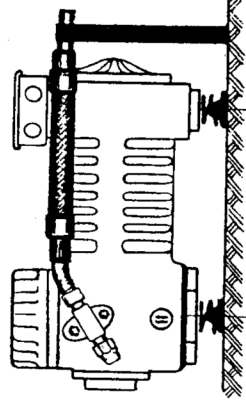
Amortizátory chvenia (sú známe obchodné názvy ako eliminátory vibrácií, Anacondy, atď) sú vhodné pre väčšinu chladív. Pri chladive amoniak sa nedajú použiť amortizátory chvenia, ktoré majú materiály z medi. Hodia sa pre tlaky až do 35 bar (pretlak). Tlmia mechanické kmity tak, že sa chvenie neprenáša v neunosnej miere na ďalší člen v okruhu.

Zabudovávajú sa do potrubí medzi pružne uložený kompresor a obklopujúce časti budovy. Pri normálnej prevádzke chladiaceho zariadenia sa neočakávajú väčšie amplitúdy amortizátora ako 200 μ m, tieto hodnoty by sa mohli dosiahnuť len pri rezonancii. V každom prípade je potrebné urobiť tesne za výstupom plynu z amortizátora úchyt rúrky s jej odítením pomocou gumy. Medené potrubia do priemeru ϕ 10 mm sa robia bez amortizátorov chvenia.

Vlnovce sú zvarované (vlnovec, vyrobený z medeného bronzu alebo z nehrdzavejúcej ocele, objímky, tkanina a nástavec) pri teplote asi 1000 °C. Preto je ho možné prispajkovať k rúrke tvrdou striebornou spájkou pri teplote asi 610 °C. Napriek tomu sa odporúča oviniť tkaninu vlhkou handrou.

Amortizátory chvenia (vlnovcové amortizátory) môžu prenášať pravouhlé pohyby k jeho pozdĺžnej osi. Axialne pohyby sú možné len v minimálnej miere. Uprednostniť je potrebné len osvedčené výrobky známych výrobcov - prasknutie vlnovca môže mať pri väčších zariadeniach ťažké následky z reklamovanej opravy pre servisnú organizáciu, resp. pre toho pracovníka, ktorý robil montáž.

Pretože pri piestových kompresoroch pohyby chvenia sú vo vertikálnom a horizontálnom smere (nie v axiálnom smere), vlnovcový amortizátor chvenia sa zabudováva vždy rovnoobežne s osou hriadeľa, obrázok 8-31.

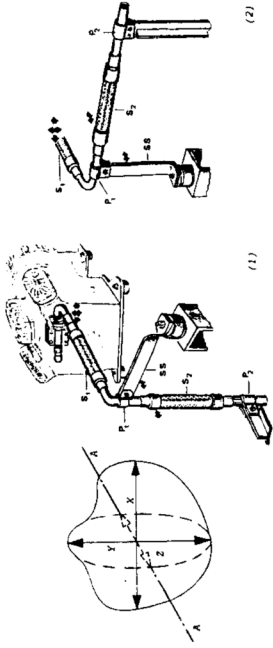


Obrázok 8-31 Amortizátor chvenia sa montuje v smere rovnoobežnom s osou kompresora

Upevňovací bod je tesne za amortizátorom.

Používajú sa aj kompenzátory, ale len pri málo častých prípadoch (ak ide o priliš dlhé potrubia).

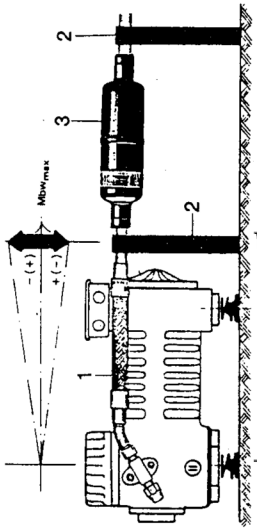
Ak sa použije amortizátor chvenia na saciu rúrku s teplotou pod 0 °C, potom je potrebné amortizátor zaizolovať parotesne a inštalovať ho len v horizontálnom smere. V smere zvislom za uvedených podmienok nie je dovolená inštalácia vlnovcového amortizátora. Pri zvislej montáži by dochádzalo pri spodnej manžete ku kondenzovaniu vody a k jej zamrznutiu so všetkými dôsledkami na životnosť zariadenia.



Obrázok 8-32 Eliminovanie chvenia pomocou dvoch amortizátorov chvenia
V prípade (1) tlmí druhý amortizátor aj axiálne kmity. Úchyty amortizátorov sú nevyhnutné.

Tlmiče pulzácií

Potrebné si uvedomiť, že tlmiče pulzácií znižujú pulzácie, ale nie chvenie. Najčastejšie sa dávajú tlmiče pulzácií do výtláčného potrubia. Ak je zaradený aj amortizátor chvenia, potom tlmič pulzácií sa dáva tesne za amortizátor chvenia a podopre sa, pozri obrázok 8-33.



Obrázok 8-33 Polohermetický piestový kompresor uložený na pružinách s amortizátorom chvenia a tlmičom pulzácií plynu. Amortizátor a tlmič sú podopreté.
Legenda : 1 – amortizátor chvenia, 2 – podpery (šírka = 2 x priemer výtláč. potrubia), 3 – tlmič pulzácií.

Sú známe horizontálne a vertikálne prevedenia. Ak sa použijú horizontálne, potom je možné smer toku plynu pripojiť z ľubovoľnej strany, ak vo vertikálnom smere, je potrebné zapojiť tlmič tak, aby plyn ním pretekal v smere šípky.

Používajú sa pri :

- ♦ výkonovo regulovaných kompresoroch,
- ♦ pri veľkých rozsahoch vyparovacích teplot (pri veľkých tlakových pomeroch),

- ♦ už pri nainštalovaných kompresoroch, ktoré sú hlučné.

Najčastejšie sa však používajú pri piestových kompresoroch. Ako povinná výbava sa vyskytujú už od výrobcu pri rotačných kompresoroch s valivým pohybom piestu. To preto, lebo v tomto prípade nasávaný plyn vstupuje priamo do valca rotačného kompresoru. Inštaláciu tlmiča hluku na chladiacom stroji v prevádzke si často vynucuje sám zákazník. Tlmiče pulzácií sú na trhu k dispozícii pre všetky chladivá. K dizpozícií sú tlmiče:

- ♦ s pevným útlmom hluku, bez regulácie hluku,
- ♦ s nastaviteľným útlmom hluku.

Volia sa podľa priemeru otvoru na uzatváracom ventilu. Ak použijeme tlmič hluku pre teploty nižšie ako $t_0 = -25$ °C, potom volíme z katalógu tlmič výkonovo o jeden stupeň nižšie, alebo použijeme tlmič s nastaviteľným útlmom hluku.

Literatúra

1. Učebné texty „ Spät“ k základom “
2. Dvořák : Základy chladicí techniky, SNTL, Praha 1986.
3. Lehrbuch der Kältetechnik, Band 1, Band 2, 1975, 1997.
4. Breidenbach: Der Kälteanlagenbauer, Band 1, Karlsruhe 1990.
5. Havelský: Chladenie, SVST, Bratislava 1990.
6. Materiály firmy Danfoss – Montage, firmy Bock, firmy Schultze
7. Blaha: Kandidátska dizertačná práca „Príspevok k dynamike hermetického kompresora“, 1986.
8. Tichomirov: Šum i vibrácii malých chłodil'nyh mašin, Moskva 1962.
9. Bishop: Kmitání, STNL, Praha 1979.
10. SPRÁVY SZCHKT
11. Multi - Circuito negli scambiatori a piastre saldobrasati, ZERO marec 1998.
12. Carrier: Schullungskskurs.
13. Materiály firmy Bitzer.
14. Copeland: Technologische Überlegungen zur FCKW – Problematik, C9.5.2.

OBSAH

8.4	Sušenie pomocou vákuovania	39
8.4.1	Čo je to vlhkosť	39
8.4.2	Tvorba kyselín	40
8.4.3	Kritický obsah vody	40
8.4.4	Sušenie pomocou vákuua	40
8.4.5	Hodnoty vákuua	41
8.5	Výkony vývev	41
8.5.1	Ako dlho a s akým výkonom vývevy je potrebné vákuovať	41
8.5.2	Skúška tesnosti s pomocou vákuua	42
8.6	Postup pri vákuovaní	43
8.7	Meranie tlakov	43
8.7.1	Na Zemi môže byť podtlak	44
8.7.2	Absolútne vákuuum	44
8.8	Konštrukcia a údržba vývev	46
8.8.1	Gasbalast - preplachovací ventil	46
8.8.2	Dvojstupňová výveva	47
8.8.3	Charakteristika modernej vývevy pre vysoké vákuuum	47
8.8.4	Vákuové meracie prístroje a ich zapojenie	48
8.8.5	Zabudovanie vákuového ventilu	48
	Literatúra	48

8.4 Sušenie pomocou vákuovania

Zákonom o ochrane ozónovej vrstvy Zeme sú zakázané všetky metódy sušenia chladiacich systémov, ktoré pracujú s látkami poškodzujúcimi ozónovú vrstvu ako s pomocnými médiami. Ani nové chladivá bez chlóru by nemali byť viac voľne vypúšťané do atmosféry, pretože ich príspevok ku skleníkovému efektu je stále veľký.

Je to „koniec“ lacným vývevam, ktorými sa len mierne vákuovalo a potom s lacným chladiivom sa vákuuum rušilo, a to sa aj 3 x opakovalo - aby bola istota, že chladiace zariadenie bolo dostatočne vysušené. Bezpečná metóda, ako zaistiť suchý systém u nových montáží je práve sušenie pomocou vákuua s vývevou vyhovujúcou tomuto účelu! To tiež platí pre vákuovanie po opravách s otvoreným chladiacim okruhom.

Rušenie vákuua pomocou chladiva nie je dovolené!!!

Najefektívnejším spôsobom na odstránenie vlhkosti zo systému je nechať ju zovrieť v hlbokom vákuuu. Dehydrátor potom odstráni zbytkovú vlhkosť. Problematika sušenia pomocou vákuua a k tomu potrebné vybavenie nie sú v praxi také bežné, aby sa táto metóda mohla kvalifikovane používať.

Vákuovanie chladiaceho okruhu znamená odčerpávanie vzduchu a vlhkosti. Vzduch sa odčerpá vývevou pomerne rýchlo, horšie to je s vlhkosťou. Proces odstraňovania vlhkosti sa nazýva tiež dehydratácia systému.

8.4.1 Čo je to vlhkosť?

Vo vzduchu, ktorý dýchame, je vlhkosť všade prítomná. Bez vlhkosti pozostávajúcej z vodnej pary neexistoval by žiaden život. Na druhej strane chladiace zariadenia sú infikované vlhkosťou, ak sa v ich okruhoch vyskytnú len stopy vodných pár.

Vodnú paru samú o sebe nie je cítiť a nie je viditeľná. Hmla alebo dym, ktoré vidíme ako vodné pary, nie sú z fyzikálneho hľadiska vôbec pary. To sú najmenšie častičky vody - tzv. *aerosóly* - ktoré sa vytvárajú až z presýtených pár. Voda síce vrie pri normálnom tlaku vzduchu až pri 100 °C, ale pod „*parciálnym tlakom pár*“ v závislosti od teploty, tlaku, a relatívnej vlhkosti vzduchu je vždy vo vzduchu obsiahnutá.

Parciálne tlaky pár sa chovajú tak ako všetky tlaky pár. Budú sa - *pokiaľ to je možné* - vždy vyrovnávať. Tak sa vodná para presunie tam, kde je jej menej a kde sa práve nachádza najstudenší rosný bod vzduchu (*pozri tabuľku*).

Tabuľka Obsah vlhkosti vo vzduchu pri rôznych teplotách rosného bodu

Rosný bod/tepl.vzduchu* (°C)	Parciálny tlak pary/tlak nasýtenia	Obsah H ₂ O
-60	14,4 Mikron = 0,014 mm Hg = 1,92 Pa	7 mg/kg
-40	171 Mikron = 0,17 mm Hg = 22,7 Pa	80 mg/kg
-20/-10	1373 Mikron = 1,4 mm Hg = 182,6 Pa	640 mg/kg
10/-1,7	= 3,5 mm Hg = 465,5 Pa	1.610 mg/kg
-5/5,5	= 5,3 mm Hg = 704,9 Pa	2.490 mg/kg
0/10	= 8,1 mm Hg = 1.077 Pa	3.790 mg/kg
2/12	= 9,4 mm Hg = 1.250 Pa	4.380 mg/kg
4/14	= 10,8 mm Hg = 1.436 Pa	5.050 mg/kg
6/16,5	= 12,4 mm Hg = 1.649 Pa	5.820 mg/kg
8/18,7	= 14,3 mm Hg = 1.901 Pa	6.680 mg/kg
10/20,8	= 16,3 mm Hg = 2.168 Pa	7.660 mg/kg
12/23	= 18,7 mm Hg = 2.487 Pa	8.770 mg/kg
14/25	= 21,3 mm Hg = 2.833 Pa	10.010 mg/kg

*Pozn.: 1 bar=1000 mbar, 1 mbar=0,75 mm Hg (Torr), 1mm Hg = 1000 Mikron Hg = 133,3 Pa
) Teplota vzduchu pri 50% rel. vlhkosti (ASHRAE Handbook, 1985)

U teplôt pod rosným bodom vodné pary skondenzujú, tak ako to je vidieť na studených okenných sklenených tabuliach. To je dôvod prečo studené diely chladiacích zariadení musia byť vždy najskôr temperované, skôr než budú otvorené. Čím sú chladnejšie, tým viac vlhkosti na nich skondenzuje.

Vodná para má vlastnosť, že je dobre pohlcovaná pórovitými látkami. Taktiež pevne prilíne na plochách materiálov použitých v chladiacich zariadeniach, pri ich bežnej drsnosti.

8.4.2 Potreba vákuovania

Úplné vyvákuovanie systému je dôležité z niekoľkých dôvodov. Nečistoty, prímеси ako vzduch a vlhkosť nielenže menia tlakovo teplotné pomery v systéme s chladivom, ale urýchľujú poškodenie systému tvorbou kyselín, ktoré znehodnocujú olej a podobne. Voda najmä v hermetických systémoch môže byť viazaná adhéznymi silami vo vinutí, na plochách statorových plechov, v póroch liatinových súčiastok a podobne. Priznakom, že neskoncovateľné plyny sú v systéme je zvýšenie tlaku na výtlaku kompresora.

Voda v chladiacom okruhu neupcháva len trysku expanzného ventilu tým, že vymrzne ako ľadová kvapka, ale urýchľuje tiež tvorbu vosku, ktorý pochádza zo stáratia oleja. Pre tieto zlé vlastnosti je vlhkosť jedným z hlavných nepriateľov chladiaceho okruhu. Tento problém nevznikol až s používaním chladiva R134a, ale bolo to tak vždy.

8.4.2 Tvorba kyselín

Vlhkosť znamená pre chladiace okruhy to isté čo „vírus AIDS“ pre človeka. S vlhkosťou v okruhu je aj najlepšie chladiace zariadenie smrteľne choré, odsúdené ku skorému zošrotovaniu. Vlhkosť podporuje koróziu kovových častí systému, stáratie oleja, oživiuje kyseliny, znižuje výkon a zvyšuje potrebu servisu.

Ak systém nie je dostatočne vyvákuovaný, zbytková vlhkosť reaguje pri vyšších teplotách s chladivom a olejom a tvorí kyselinu fluorovodíkovú a chlorovodíkovú. Kyseliny, ktoré vznikajú ako produkty rozpadu chlórových a fluórových chladív až pri vyšších kompresných teplotách, zostávajú celkom neškodné tak dlho, pokiaľ chladiaci okruh nenasaje vlhkosť. Zlé je to, že voda + kyselina + teplo vytvárajú stále viac kyselín, ktoré vedú k ďalšej tvorbe kyselín.

Ak sa systém otvorí a je cítiť kyslík zápach, môže to znamenať tvorbu kyselín a v tom prípade je nutné systém prepláchnuť.

8.4.3 Kritický obsah vody

Aby sa mohlo zamedziť reakcii chladív obsahujúcich chlór alebo fluór s vodou, čo vedie k tvorbe kyselín, je potrebné dodržiavať nízke krajné hodnoty obsahu vody. Tieto bezpečnostné medze sú rôzne pre jednotlivé časti chladiaceho okruhu a sú závislé od tlaku a teploty. K tvorbe kyselín s vodou dochádza prevažne v najteplejšej časti kompresora.

Kritický obsah vody u R12 a R22 (teda u chladív najčastejšie používaných v živnostenskom chladiení) je vyšší ako 0,1 g/kg (100 mg/kg). Pritom sa predpokladajú kompresné teploty do 100 °C a neprítomnosť cudzích plynov (napr. vzduchu).

V praktickej prevádzke chladiacích zariadení s motor-kompresorami chladienými nasávanými parami chladiva sa neostáva pri týchto teplotách. Musí sa počítať so 140 až 160 °C a v norme CEN/EN378-12:1991 sa v prísnych nárokoch na čistotu ráta s nevyhnutnou prímесou vzduchu okolo 1,5 %. Tá istá norma na čistotu požaduje pre nové a recyklované chladivo na vodu medznú hodnotu 10 mg/kg (0,01g/kg).

To všetko sú hodnoty, ktoré ležia hlboko pod hodnotami zodpovedajúcimi - 40 °C v predchádzajúcej tabuľke. Kde by mala ležať skutočná medzná hodnota pre recyklované chladivo, je sporné. Podľa normy (Standard ARI 740-91) je potrebné rozlišovať medzi recyklovaným chladivom a regenerovaným chladivom. Regenerované musí spĺňať požiadavky na čistotu „nového“ chladiva.

8.4.4 Sušenie pomocou vákuua

Je to dosiahnutie takého tlaku, ktorý je nižší ako tlak nasýtených pár vody pri určitej teplote, ktorý pri teplote 20 °C je cca 2 333 Pa (17.497 mikróvov Hg). Vodné pary sa začínajú čerpať pri dosiahnutí tlaku nižšieho, ako je tlak nasýtených pár. Z toho vyplýva, že čím nižší tlak dosiahneme, tým intenzívnejšie je vyparovanie z hladiny. Tento mechanizmus je však zložitejší, pretože pri intenzívnom vyparovaní sa systém ochladzuje a tým sa znižuje tlak nasýtených pár a môže prísť k namrznutiu vlhkosti, vody. Zvlášť nebezpečné je to v pórovitých materiáloch nasýtených vlhkosťou, kde je tlak nižší ako je tlak nasýtených pár pre voľnú hladinu vody.

Typickým miestom, kde môže prísť k zamrznutiu vody je filterdehydrátor a vstrekovacia ventíl.

8.4.5 Hodnoty vákuua

Vlhkosť v akékoľvek forme na ktoromkoľvek mieste v systéme sa neodstráni pri akomkoľvek vákuu. Pri približne 2 333 Pa voda vriete pri 20 °C. Pri vákuu cca 100 Pa voda vriete blízko pod 0 °C. To je vákuum, pri ktorom vlhkosť sa dobre a rýchlo vyparuje. Pri tlaku 50 Pa (0,5 mbar) teplota varu je takmer - 30 °C. Akákoľvek vlhkosť pri takomto nízkom tlaku nemá šancu zostať v tekutej forme. Prítomná vlhkosť sa vyparí a spolu s ostatnými neskoncovateľnými plynnými bude odčerpávaná vývevou.

Stredné vákuum, tiež nazývané jemné vákuum, začína pod úrovňou vákuua 100 Pa. Je bežne merané tiež v mikrónoch. Vysoké vákuum začína pod 1 Pa. Vývevy pre sušenie chladiacich zariadení by mali dosahovať vákuum minimálne 6,65 Pa čo je 50 mikróvov alebo 0,05 mmHg, resp. 0,065 mbar. Len s takou vývevou bude možné pre väčšinu chladiacich zariadení zaistiť, aby zostávajúca vlhkosť zostala v rozsahu, ktorý zaistí ich dlhú životnosť.

Toto konečné vákuum je potom potrebné udržať tak dlho, až si môžeme byť istí, že okruh bol dost' dobre vysušený. Dobré dvojestupňové vývevy dosahujú konečné vákuum 2,660 Pa, čo je 20 mikróvov Hg.

Vákuovanie je najlepšie urobene s kvalitnou dvojestupňovou vývevou s výkonom zodpovedajúcemu objemu chladiaceho okruhu.

8.5 Výkony vývev

Pokiaľ má vákuové sušenie vyhovovať, musia byť bezpodmienečne použité dvojestupňové vývevy pre stredné vákuum so zodpovedajúcim výkonom napríklad objemu chladiaceho okruhu s rozváztačom a tlakomerom so stupnicou najlepšie v Pa, minimálne však v milibaroch. Len tak je možné vytvoriť dostatočne veľký spád na odstránenie vlhkosti chladiacich okruhov. Chladivo pred vákuovaním musí byť odčerpávané a v systéme nesmie byť tlak.

Ďalej je potrebné pri vákuovom sušení uvážiť, že tok plynov v rozsahu stredného vákuua je spojený s relatívne vysokým tlakovým spádom. Tak malý počet molekúl v takom objemovom toku má veľa miesta pre voľné kmitanie (Brownov pohyb) a dá sa takmer len náhodne pohnúť smerom k výveve. Preto je potrebné sa čo najviac vyhnuť dlhým vedeniam a úzkym prierezom. Okrem toho musí byť odborníkom jasné, že vákuum namerané na výveve nezodpovedá vákuu v chladiacom okruhu. Tam môže byť podstatne vyššie, pokiaľ sa nepracuje s krátkymi hadicami a s čo najmenej škrtiacimi miestami.

Pre chladiace okruhy podľa ich objemu sú odporúčané nasledovné čerpacie výkony dvojestupňových vývev:

- ◆ pre chladiaci okruh s objemom do 6 dm³ výveva s výkonom 1,5 m³/hod.,
- ◆ pre chladiaci okruh s objemom do 60 dm³ výveva s výkonom 5 m³/hod.,
- ◆ pre chladiaci okruh s objemom nad 60 dm³ výveva s výkonom 15 až 20 m³/hod.

Pre určenie veľkosti vývevy môže byť tiež zvolená veľkosť náplne chladiva chladiaceho zariadenia, ktorá najlepšie zodpovedá vnútornému obsahu zariadenia.

Náplň chladiva	Veľkosť vývevy	Vákuum
do 6 kg	1,5 m ³ /hod	6,65 Pa (50 mikrórov)
do 25 kg	5,7 m ³ /hod	2,66 Pa (20 mikrórov)
do 35 kg	8,4 m ³ /hod	20 mikrórov
do 55 kg	14 m ³ /hod	20 mikrórov
do 85 kg	25 m ³ /hod	50 mikrórov

Tabuľka Odporučené veľkosti dvojestupňových vývev pri min. sušiacjej dobe 2 hod.

Chladiace výkony, podľa ktorých bývajú tiež priraďované veľkosti vývev platia pre kompaktné prístroje a tiež pre zariadenia so široko rozvetveným potrubným vedením. Môžu sa ale vo vnútornom objeme medzi sebou extrémne líšiť.

8.5.1 Ako dlho a s akým výkonom vývevy je potrebné evakuovať

Sušiacia alebo evakuačná doba nemôže byť nikdy dost dlhá. Najkratšia doba sa nedá všeobecne stanoviť. Závisí popri výkone a kvalite použitej vývevy, od vnútorného objemu a od veľkosti vnútorných plôch chladiaceho okruhu, ktorý má byť sušený a na teplote jednotlivých častí okruhov.

Spravidla platí:

„Čím je zariadenie teplejšie, tým je sušiacia doba kratšia“.

Aby sa s kvalitnou vývevou dal dobre vysušiť temperovaný chladiaci systém, mal by sa po dosiahnutí vákuu pod 50 Pa (375 mikrórov) ešte minimálne 1 hodinu okruh ďalej odsávať. Evakuačné časy, ktoré sú kratšie, síce dostatočne odstránia plyny, ale nemajú nič spoločného so sušením!

Najstiejšie je možné dosiahnuť dobre vákuové sušenie, keď sa k zariadeniu pripojí na viac než 2 hodiny dobrá dvojestupňová výveva, ktorej veľkosť leží vo výkonnom rozsahu, uvedenom v predchádzajúcej tabuľke. Je výhodné na vákuovanie využiť nočné hodiny. Čím dlhšie sa evakuje, tým „zdravšie“ bude zariadenie.

V prípade, že sa zvolia dlhšie časy sušenia, môžu sa s rovnakou veľkosťou vývevy taktiež dobre vysušiť i väčšie zariadenia. Je potrebné si uvedomiť, že sušiacie časy podľa nasledujúcej tabuľky a rovnice - začínajú po dosiahnutí vákuu cca 13,3 Pa (100 mikrórov). S príliš malými vývevami bude to vždy trvať dlhšie, než sa odsávacia etapa ukončí a začne vlastné sušenie.

Minimálna odporúčaná sušiacia doba môže byť zhruba určená podľa nasledujúcej rovnice (*hodnoty „f“ pozri v tabuľke*):

Min. sušiacia doba = 1 h + náplň chladiva v kg : dopravný výkon v m³ za hod. x f

Faktor „f“ je závislý od hodnoty konečného vákuu.

Pri 12 Pa	f = 1,52	6,65 Pa	f = 1,00
10,6 Pa	f = 1,35	5,32 Pa	f = 0,92
9,31 Pa	f = 1,2	3,99 Pa	f = 0,88
7,98 Pa	f = 1,08	2,66 Pa	f = 0,85

Tabuľka Faktor „f“ pre rovnicu výpočtu minimálnej sušiacjej doby a konečné vákuum

Minimálna sušiacia doba platí pri 20 °C (±2K). Musí byť predĺžená, keď časti zariadení, ktoré sú určené na sušenie, sú chladnejšie. Všetky tieto časové hodnoty platia pre

normálne chladiace zariadenia, ktoré sú nasýtené len vlhkosťou zo vzduchu a do ktorých sa nedostala voda v kvapalnom stave.

8.5.2 Skúška tesnosti s pomocou vákuu

Skúška tesnosti s pomocou vákuu, to znamená, že sa nechá pôsobiť vákuom dlhšiu dobu a sleduje sa, či nenastane rast tlaku, je problematická. Existujú totiž netesnosti, ktoré pod vákuom sú tesné, ale za tlakových prevádzkových podmienok nie. Aby sa dosiahlo dobrého vysušenia, musí byť pred začiatkom evakuácie isté, že zariadenie je 100 % tesné. Kvalita sušenia by bola pochybná, keby zariadenie v priebehu sušenia mohlo cez netesnosť prisávať vzduch, a tým taktiež vlhkosť.

Bezpodmienečne je nutná starostlivá skúška tesnosti s max. 3 % chladiva ako stopového média a dusíka alebo suchého vzduchu ako tlakového plynu, pri tlaku, ktorý zodpovedá maximálnemu prevádzkovému tlaku. Hľadanie netesnosti je potrebné robiť vždy s vysoko citlivým prístrojom. Nanášanie speňujúcich látok štetcom by malo byť používané len k lokalizácii netesného miesta a nie - ako je to stále bežné - ako jedinej metódy hľadania netesnosti.

8.6 Postup pri vákuovaní

1. *Výveva je pripojená na centrálny prívod na rozvádzač, ktorý sa pripája hadicami na servisné ventily na nízko a vysokotlakové strane chladiaceho okruhu. (Kvalita vývevy a dĺžka, priemer hadíc dramaticky ovplyvňujú čas vákuovania. Priemer pripojných hadíc musí byť najmenej tak veľký ako je priemer vstupu do vývevy).*
2. Počas vákuovania je úroveň vákuu meraná na rozvádzači, ktorý však dáva len približnú informáciu o skutočnej úrovni vákuu v systéme. Tlakomer so stupnicou v pascaloch pripojenom najlepšie priamo na chladiacom okruhu dáva najlepšiu informáciu o skutočnej úrovni dosiahnutého vákuu. Dôležité je jeho pripojenie na chladiacom okruhu a nie na saní vývevy. Rovnako rozvádzač, ak je použitý, má mať dlhšie pripojenie voči výveve a kratšie voči pripojeniu na chladiaci okruh.
3. *Zapne sa výveva. Pred vákuovaním zvlášť v chladnom počasí sa výveva nechá bežať 10 minút pri otvorenom výfukovom ventile, aby sa zohrialo. Rýchlosť vákuovania bude závisieť od veľkosti vákuovaného zariadenia, okolitej teploty a množstva vlhkosti v okruhu. Pri chladiacich okruhoch aj s kapilárrou je nutné vákuovať z oboch strán kompresora. Pri väčších chladiacich zariadeniach sa výfukový ventil viac pootvori.*
4. Nizkotlaký tlakomer musí preukázať rýchly pokles tlaku. Ak systém má veľkú netesnosť, tlakomer nepreukáže plynulý pokles tlaku, vákuovanie sa preruší a odstráni sa netesnosť.
5. *Vákuum požadované na úplnú dehydratáciu systému sa rôzni podľa požiadaviek výrobcov. Úroveň vákuu 50 Pa je síce dobrá, ale systém s novými chladivami vyžaduje pri vákuovaní úroveň vákuu až pod 13 Pa.*
6. Zariadenie vyvákuujeme rýchlejšie, ak dosiahnuté vákuum raz až dva krát prerušíme suchým dusíkom (rosný bod - 40°C). Pomocou efektu zriedenia sa podstatne rýchlejšie dosiahne zbytkový podiel vlhkosti, ako pri dlhom neprerušovanom vákuovaní, keďže s klesajúcim tlakom dopravný výkon čerpadiel rýchlo klesá. Ak nepoznáme kvalitu suchého dusíka je vhodné prepustiť ho do okruhu cez dehydrátor. Vákuovanie tiež urýchli zahrievanie chladiaceho okruhu, najmä vstrekovacieho ventilu a dehydrátora, kde hrozí zamrzanie vody. Tento problém tiež rieši prerušovanie vákuovania s vyrovnávaním teplôt v okruhu s okolitou teplotou.
7. *Pri vákuovaní, ak výveva má vysokú výkonnosť, prudké zníženie tlaku v systéme môže spôsobiť zamrzanie vlhkosti. Zamrznutá vlhkosť môže byť odstránená sublimáciou*

(proces, v ktorom sa vlhkosť v tuhej fáze mení priamo na plynnú bez prechodu cez kvapalnú). Tlak v systéme však musí stúpať, čo sa dosiahne dopustením suchého dusíka.

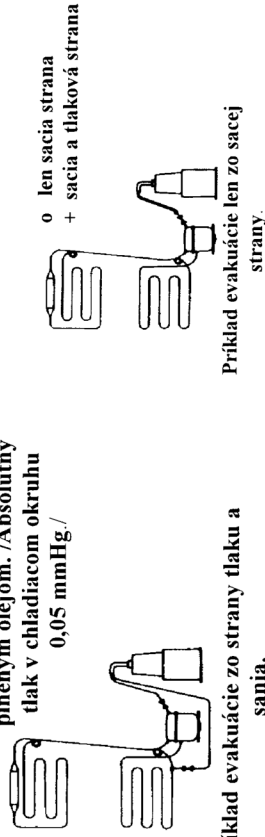
8. Po tom, čo systém sa dostane na požadovanú úroveň vákua, uzavriú sa ventily rozvádzača na kontrolu obsahu vlhkosti v systéme a netesnosti. Uzavretie ventilov odstaví systém od vývevy. Potrebné je však uvedomiť, že pripojenie rozvádzača k chladiacemu okruhu je súčasťou vákuovaného systému a teda i možným zdrojom netesnosti.

9. Ak systém má netesnosti, zbadáme to na tlakomeri. Akákoľvek netesnosť spôsobí rast tlaku systému až na úroveň atmosférického tlaku. Avšak ak netesnosť je malá, môže to trvať od niekoľko minút po niekoľko hodín, aby sa na tlakomeri preukázala netesnosť. Ak je prítomná vlhkosť, tlak stúpne a zastaví sa - ďalej nestúpa, ak zároveň nie je v systéme netesnosť.

10. Ak systém drží vákuum, vákuovanie je ukončené a môže sa začať plnenie chladivom.

11. Vzhľadom na schopnosť pohlcovania vlhkosti esterovými olejmi sa ich plnenie vykonáva pod vákuom do vyvákuovaných kompresorov. Vlhkosť oleja sa čiastočne odstraňuje vákuovaním za mechanického miešania a zohrievania oleja pokiaľ je to možné.

Evakuácia chladiaceho okruhu s kompresorom plneným olejom. /Absolútny tlak v chladiacom okruhu 0,05 mmHg./

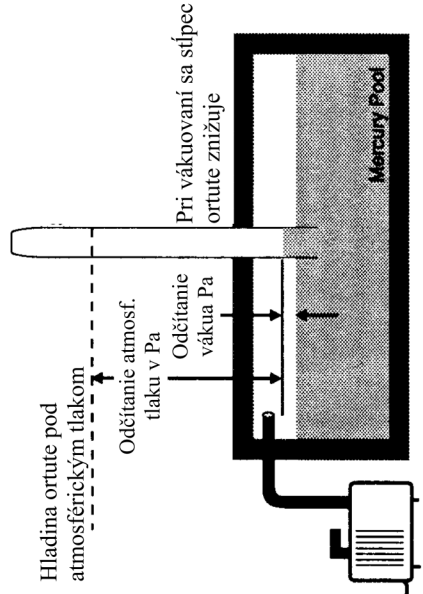
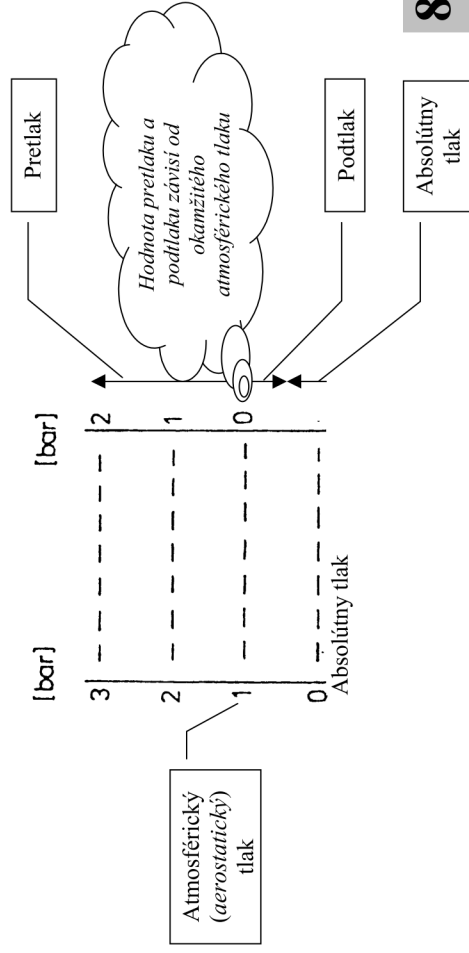


Příklad evakuácie zo strany tlaku a sacia.

Tlaky plynov sa merajú pomocou manometrov (ak ide o pretlaky), vákuometrami (ak ide o vákuum) a manovakuometrami (ak merajú pretlaky i podtlaky).

- ◆ Tlaky, ktoré sú merané manometrami a sú vyššie ako atmosférický (aerostatický) tlak, sa nazývajú pretlaky.
- ◆ Tlaky, ktoré sú merané vákuometrami a sú merané od úrovne atmosférického (aerostatického) tlaku sa nazývajú podtlaky. Pri vákuomeroch sa potrebné presvedčiť, či vákuomer udáva podtlak voči aerostatickému tlaku, alebo absolútny tlak.
- ◆ Tlaky absolútne sú dané:

- buď súčtom pretlaku a atmosférického (aerostatického) tlaku,
- alebo rozdielom atmosférického (aerostatického) tlaku a podtlaku meraného od úrovne aerostatického tlaku.



Obrázok Meranie aerostatického tlaku a vákua, na ortuťovom barometri s hladinou ortute otvorenom atmosférickému tlaku a zhora ponorenou do ortute uzatvorenom trubicou vyvákuovanou na úroveň absolútneho vákua

Pokiaľ hľadáme v tabuľkách chladiv podľa teploty a tlaku, alebo počítame tlakové pomery v kompresoroch, tak je nutné používať absolútne tlaky.

Pri vákuovaní chladiaceho okruhu sa často pracuje s tlakmi blízko absolútneho vákuu a preto sa používajú tlakomery so stupnicou v pascaloch, mili, alebo mikro-baroch a podobne.

Meranie aerostatického tlaku a vákuu, je dobre demonštrovateľné na ortuťovom barometri s hladinou ortute otvorenou atmosférickému tlaku a zhora ponorenou do ortute uzatvorenej trubicou vyvákuovanej na úroveň absolútneho vákuu.

Ak hladina ortute v nádobe je vystavená atmosférickému tlaku, vystúpi ortuť v trubici na cca $0,1 \text{ MPa}$ nad hladinu ortute v nádobe. Táto výška je úmerná hmotnosti atmosféry nad hladinou ortute v nádobe.

8.7.2 Absolútne vákuum

Ak tlak v nádobe pomocou vákuovej pumpy budeme znižovať, potom bude klesať i stĺpec ortuť v trubici. Najnižší bod, na ktorý môže stĺpec klesať je hladina ortute v nádobe. Avšak len absolútne vákuum dokáže vytvoriť takéto podmienky.

Absolútne vákuum na Zemi je teoretické a preto stĺpec ortute bude vždy trochu nad hladinou ortute v nádobe. Tento malý rozdiel sa najlepšie meria v mikrónoch. Vákuum $66,5 \text{ Pa}$ (500 mikrónov Hg) je vlastne výška ortuťového stĺpca meraná v mikrónoch a považuje sa za stredné vákuum, ktoré je dosiahnuteľné dvojestupňovou vývevou.

Tabuľka Vybrané prepočítané tlakové jednotky

	1 mbar	Pa	mikrobar	Torr	mikrón
1 mbar	1	10^2	10^3	0,75	$7,5 \cdot 10^2$
Pa	10^{-2}	1	10	$7,5 \cdot 10^{-3}$	7,5
mikrobar	10^{-3}	0,1	1	$7,5 \cdot 10^{-4}$	$7,5 \cdot 10^{-1}$
Torr	1,33	$1,33 \cdot 10^2$	$1,33 \cdot 10^3$	1	10^3
mikrón Hg	$1,33 \cdot 10^{-3}$	$1,33 \cdot 10^{-1}$	1,33	10^{-3}	1

8.8 Konštrukcia a údržba vývevy

Výveva je konštruovaná tak, že môže vytlačiť odsávaný plyn na atmosférický tlak. Preto sa nemôže použiť na odber chladiva z chladiaceho okruhu do zbernej nádoby. Kompresor je síce schopný vytlačiť do väčších tlakov, ale nie je vhodný na vákuovanie. Po prvé nevytvára dostačujúce vákuum a po druhé vzniká nebezpečie jeho poškodenia napríklad elektrickým skratom, prierazom.

Dimenzovanie elektrického motora vo výveve je zväčšia kompromisom medzi letnou a zimnou prevádzkou (pod 6°C), kedy je olej viskóznější. Vývevu je v zime vhodné držať v teple a pred vákuovaním nechať zohriať na prevádzkovú teplotu. S poklesom okolitej teploty je potrebné i vyššie vákuum na odstránenie vlhkosti.

Skondenzovanie čerpaných pár pri kompresii vo výveve je dej, ktorému je nutné predchádzať, pretože sa môžu zhoršiť mazacie podmienky, ktoré spolu s chemickou reakciou môžu spôsobiť jej zadrenie a zničenie.

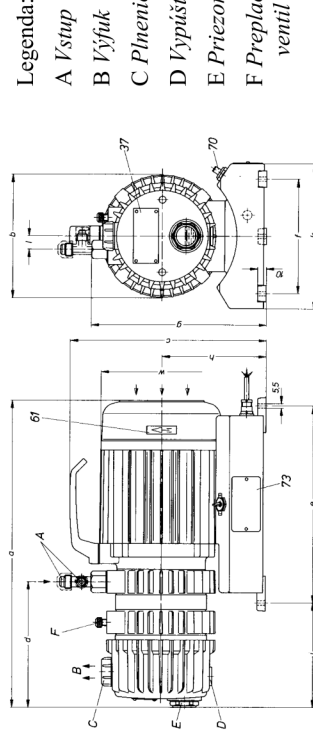
Tomuto javu sa predchádza sledovaním stavu oleja a jeho včasnou výmenou i s viacerými preplachmi vývevy čistým olejom. Tento postup je ekonomicky náročný a preto je snaha životnosť olejovej náplne predĺžiť striedaním režimu čerpania pár s čerpaním suchého vzduchu a podobne.

8.8.1 Preplachovací ventil (gasbalast)

Viacstupňové vákuové čerpadlá sú pre vysoké vákuum vybavené preplachovacím ventilom. Tento zabezpečuje ochranu olejovej náplne pred kondenzáciou vodných pár primiešaním takého množstva relatívne suchého vzduchu z normálnej atmosféry, aby sa zamedzilo kondenzácii vodných pár. To síce znižuje čerpaciu rýchlosť, ale zvyšuje životnosť oleja a pomáha dosiahnuť požadovanú úroveň konečného vákuu.

Vždy, keď sa výveva spúšťa, je potrebné nechať preplachovací ventil otvorený až do vákuu cca 133 Pa (1000 mikrónov Hg). Potom v priebehu sušiacieho procesu v oblasti stredného vákuu ostane uzatvorený.

Obrázok Dvojestupňová výveva



8.8.2 Charakteristika modernej vývevy pre vysoké vákuum

Takmer všetky vývevy používané na sušenie v chladiacej technike sú s valivým piestom. Prenosné vývevy vhodné aj ako prevádzkové na mieste stavby by mali byť robustné ale predsa len ľahké, aby ich bolo možné bez problému premiestňovať. Typicky servisné vnútorné usporiadanie pozostáva:

1. "Isolation Valve" je názov integrovaného vákuového uzatváracieho ventilu na vstupe. S jeho pomocou sa výveva po ukončení sušenia - pred vypnutím - izoluje od vysokého vákuu. Tým sa zabezpečí, aby sa olej z vývevy nemohol dostať späť do chladiaceho systému.
2. Dobré vyvážené držadlo umožňuje bezpečnú manipuláciu. Cez toto držadlo sa tiež odvádzajú odsávané plyny do atmosféry.
3. „Preplachovací ventil (gasbalast)“ zabezpečuje zníženie kondenzácie vodných pár v kompresnom priestore vývevy a zlepšuje odsávací výkon.
4. Vstupný filter: v prevedení jemnej sieťky chráni vývevu pred nečistotami.
5. Dvojestupňové riešenie vývevy umožňuje efektívne vyčerpanie vlhkosti a tým zabezpečuje dobré vysušenie zariadenia.
6. Vypúšťací ventil na olej na spodnej časti olejovej vane je ľahko prístupný.
7. Základ vývevy zlepšuje vyváženosť a pokojný chod vývevy.

8.8.3 Vákuové meracie prístroje a ich zapojenie

Usporiadanie s vákuovým meracím prístrojom a plniacou stanicou má byť v koncepcii zariadenia na sušenie s pomocou vákuu s oddeliteľnými možnosťami pripojenia prístroja na meranie vákuu a plniaceho zariadenia so všetkým možným ventilovým kombináciami. Praktik musí pritom dať pozor na to, či skutočne ide o špeciálne ventily pre techniku vysokého vákuu. Ventily inak bežné v chladiacej technike majú v oblasti vysokého

vákuu príliš veľké prietokové straty. V žiadnom prípade sa nesmie pri plnení dostať chladivo do vývevy a presné prístroje pre meranie hlbokého vákuua nesmú byť vystavené vysokým prevádzkovým tlakom chladiaceho zariadenia.

8.8.4 Zabudovanie vákuového ventilu

Tento ľahko ovládateľný uzatvárací ventil umožňuje súčasne pripojenie vývevy, ventilovej batérie a vákuomera. S použitím T kusu môžu byť taktiež pripojené plniace valce. Pre všeobecnú kontrolu priebehu sušenia existujú drahé, robustné vákuové manometre a absolútne manometre, ktoré sú vybavené bežne škálou v jednotkách Pa, Torr a/alebo mbar. S nimi je možné len približne zistiť, či bolo dosiahnuté dostatočné vákuuum. Minimálne vypočítané doby sušenia podľa už uvedenej rovnice sa nedajú s týmito prístrojmi určiť. Pre tento účel existujú elektronické meracie prístroje, ktoré sú vhodné pre prostredie mimo dieľnu a mali by patriť k štandardnému vybaveniu montérov.

Súhrn:

- ◆ *Všetky sušiace metódy pracujúce s lacnými výevami a chlороvanými uhl’ovodíkmi narušujúcimi ozón ako sušiacim médiom, sú dnes zakázané. Nesmie byť používaný spôsob 3x evakuovať a medzi tým rušiť vákuum „novým“ suchým chladivom, ktoré tu pôsobí ako sušiaci prostriedok.*
- ◆ *Spolahlivé vysušenie systému je možné dosiahnuť len s pomocou dvojstupňovej vývevy pri konečnom vákuu min. 6,65 Pa čo je 50 mikrónov.*
- ◆ *Sušiť nie je možné rýchlo. Pod časom 2 hodiny nie je možné dosiahnuť dostatočné vákuovanie ani s najlepším vybavením.*
- ◆ *Systém určený na vysušenie, musí byť „pred“ evakuáciou 100 % tesný. To musí preukázať skúška pri prevádzkovom tlaku so stopovým plynom a kvalitným prístrojmi na zisťovanie netesností. Najmenšia netesnosť znemožní dosiahnuť dobrý výsledok sušenia.*
- ◆ *V rozsahu vysokého vákuua je možné úspešne pracovať len s vhodným meracími prístrojmi a prístrojenstvom pre vákuové zariadenia.*

Literatúra:

1. Učebné texty na prácu s látkami, ARI 1994, USA
2. Správy SZ CHKT.
3. Sušenie pomocou vákuua. Die Kälte und Klimatechnik 8/1992.