

Ing. Marian FORMÁNEK

Potrubní systémy chladicích zařízení

Pipe Systems of Cooling Appliances

Recenzent
prof. Ing. Jiří Petrák, CSc.

Článek se zabývá praktickými poznatky navrhování a instalací potrubí pro rozvod chladiva v chladicím zařízení. Potrubí je zde rozděleno podle své funkce v chladicím okruhu a text je doplněn výpočtem správného průřezu potrubí v závislosti na doporučené rychlosti proudění chladiva v dané části potrubí. Obrázky uvedené v textu znázorňují různá správná i špatná řešení návrhu potrubních systémů. Správně navržené potrubí pro rozvod chladiva zajišťuje spolehlivý provoz chladicích zařízení.

Klíčová slova: potrubí, chladicí zařízení, rychlost proudění

The article deals with practical knowledge from design and installation of pipes for refrigerant distribution in cooling appliances. Pipe system is divided according to its function in a cooling circuit and the text is replenished with a calculation of the correct duct diameter in relation to the recommended flow velocity of the refrigerant in the particular duct part. Attached figures demonstrate different correct and erroneous solutions of pipe system design. Properly designed pipe system for refrigerant distribution ensures good operation of cooling systems.

Keywords: pipe system, cooling appliance, flow velocity

ÚVOD

Některé závady na nových chladicích zařízeních, jako například výpadky kompresorů, nedosažení projektovaných parametrů, nedostatek oleje v kompresoru, bývají zapříčiněny právě špatným nebo nevhodným dimenzováním či konstrukčním uspořádáním spojovacího potrubí. Při nedostatku oleje bývá tato závada často odstraňována jeho doplněním. Je třeba si uvědomit, že chladicí zařízení olej nespotebovává a pokud nedojde k jeho úniku do venkovního prostředí, jedná se o závadu přemísťování oleje v chladicím okruhu. Olej je v chladicích zařízeních dopravován po stěnách potrubí a je nutné nadimenzovat spojovací potrubí právě tak, aby rychlost proudění chladiva byla pro vrácení oleje do kompresoru optimální. Dá se vycházet z toho, že podíl oleje v chladivu je cca 3 až 5 %. Při nízké rychlosti proudění chladiva (velký průměr sacího potrubí) se olej přemísťuje a bývá shromažďován převážně ve výparníku. Toto vede ke zhoršování přestupu tepla, poklesu výkonu a hospodárnosti chladicího zařízení, až nakonec dojde k provozní poruše pro nedostatek oleje v kompresoru.

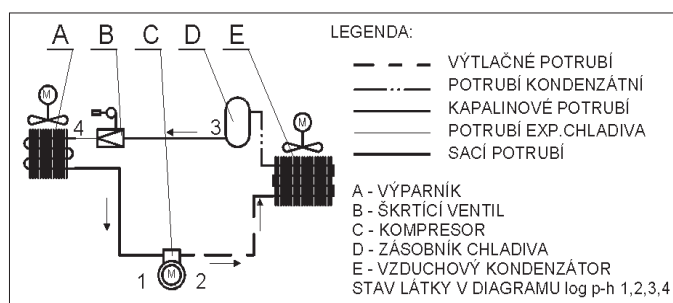
Obdobné potíže nastávají u chladicích zařízení pracujících s částečným zatížením. Dimenzování potrubí podle přípojovacích rozměrů zařízení (kompresorů, kondenzačních jednotek) je nevhodné a v důsledku vede k výše popisovaným problémům. Přípojovací rozměry chladicích zařízení musí být dimenzovány na maximální výkon. Chladicí výkon a hmotnostní průtok chladiva se velmi mění s vypařovací teplotou. Malé rozměry potrubí představují vysoké rychlosti proudění chladiva a ty mají za následek vysoké tlakové ztráty a tím ztráty na výkonu. Při větších rozměrech potrubí klesají ztráty prouděním a tím provozní náklady, vede to však k větším pořizovacím nákladům na potrubí a na komponenty. Kromě toho jsou zde také ještě omezení daná problematikou vrácení oleje v sacím potrubí. V uvedeném výpočtu se optimalizuje průměr potrubí s ohledem na minimální rychlost proudění chladiva (minimální rychlost proudění chladiva nutná pro spolehlivé vrácení oleje) a maximální tlakovou ztrátu. V dalším textu jsou upřesněna řešení jednotlivých částí potrubní sítě u chladicích zařízení a to klasických kondenzačních jednotek i sdružených kondenzačních jednotek, [1], [2].



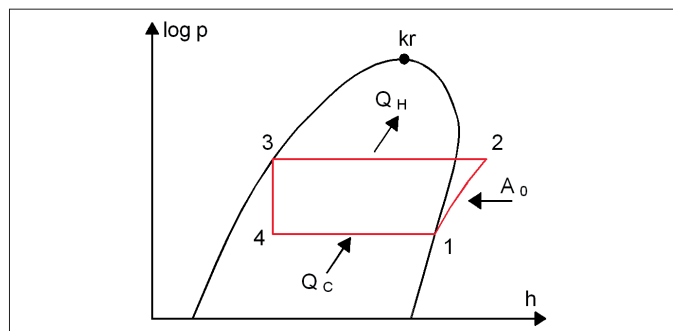
Ing. Marian Formánek (1973) je absolvent Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně, oboru Technika prostředí. Studuje v rámci kombinované formy doktorského studia na Odboru termomechaniky a techniky prostředí FSI VUT v Brně a je zaměstnán jako projektant a technolog chladicích zařízení u firmy Jiří Mrkvica v Brně.

POPIS ZAŘÍZENÍ

Schéma chladicího zařízení včetně označení potrubních systémů je znázorněno na obr. 1. Zakreslení oběhu chladicího zařízení v diagramu log p - h je na obr. 2, p [Pa] značí tlak chladiva a h [J.kg⁻¹] je měrná entalpie chladiva. Teplo odvedené ze soustavy v kondenzátoru je značeno Q_H [W], Q_C [W] znázorňuje teplo přivedené do systémů ve výparníku a A_0 [J] je práce kompresoru. **Výtlačné potrubí**, dopravuje stlačené páry chladiva s obíhající množstvím oleje z kompresoru (kompresorů) do kondenzátoru. Tlumí vlivy značného tepelného namáhání a kmitání vznikajícího stlačováním par chladiva. **Potrubí kondenzační**, dopravuje kondenzát (směs částečně zkondenzovaného chladiva a par chladiva) z kondenzátoru do sběrače chladiva. Je možné je použít pro zpětné proudění par ze sběrače do kondenzátoru. **Kapalinové potrubí**, dopravuje směs oleje a kapalného chladiva ze sběrače k expanznímu ventilu. **Potrubí expandovaného chladiva**, dopravuje z expanzního ventilu expandované chladivo do výparníku (výparníků). **Sací potrubí**, dopravuje obíhající olej a přehřáté páry chladiva z výparníku (výparníků) do sání kompresoru (sacího rozvodu u sdružených kondenzačních jednotek).



Obr. 1 Schéma chladicího zařízení



Obr. 2 Diagram log p - h chladicího zařízení

Pro dimenzování výše uvedených úseků potrubí je důležité zachovat vhodnou rychlost, hmotnostní tok a směr proudění chladiva příslušným úsekem potrubí. Rovněž je důležité přihlídnout k délce a rozsáhlosti potrubní sítě a způsobu nástřiku chladiva (přímý nástřik chladiva do výparníku, nebo použití rozdělovače), [3].

PRŮMĚRY POTRUBÍ

Výpočet průměru potrubí je poměrně jednoduchý, vychází z chladicího výkonu, parametrů chladiva v konkrétním chladicím zařízení a respektuje doporučené rychlosti proudění w_i [m.s⁻¹] viz tab. 1.

Tab. 1 Doporučené rychlosti proudění chladiva pro různé typy potrubí [m.s⁻¹]

Chladivo	Sací potrubí	Výtlačné potrubí	Kapalinové potrubí	Potrubí kondenzátu
R 22	5,5 až 11	4,0 až 11	0,2 až 0,8	< 0,5
R 134a	5,0 až 11	3,0 až 14	0,2 až 0,8	< 0,5
R 404A	5,0 až 15	2,0 až 15	0,3 až 0,8	< 0,5
R 407C	5,0 až 11	4,0 až 11	0,3 až 0,8	< 0,5
R 410A	4,0 až 18	3,0 až 16	0,4 až 0,8	< 0,5
R 507	5,0 až 16	2,0 až 16	0,3 až 0,8	< 0,5
NH ₃	15 až 20	16 až 25	0,5 až 2	< 0,5

Chladicí výkon $\dot{Q}$ [W] závisí na hmotnostním průtoku chladiva $\dot{m}$ [kg.s⁻¹], který je ve všech místech potrubí stejný a dále na hmotnostní chladivosti q_0 [J.kg⁻¹]. Lze jej vyjádřit rovnicí

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot q_0 = \dot{m}(h_1 - h_5) \quad (1)$$

kde

q_0 je rozdíl měrných entalpií chladiva $h_1 - h_5$ [J.kg⁻¹] mezi vstupem a výstupem z výparníku, viz obr. 2. Hmotnostní průtok chladiva můžeme vyjádřit lokálními měrnými objemy v_i [m³.kg⁻¹] v uvedených místech, které lze odečíst pro jednotlivé i-té stavy chladiva obvykle z diagramu $\log p-h$ nebo parních tabulek a platí rovnice kontinuity pro stlačitelné tekutiny

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}}{q_0} = \frac{S_i \cdot w_i}{v_i} \quad (2)$$

Z rovnice (1) a (2) se dá vypočítat potřebný lokální průřez potrubí S_i v závislosti na lokální rychlosti proudění w_i a dalších veličinách

$$S_i = \frac{\dot{m} \cdot v_i}{w_i} = \frac{\dot{Q} \cdot v_i}{q_0 \cdot w_i} = \frac{\dot{Q} \cdot v_i}{(h_1 - h_5) \cdot w_i} \quad (3)$$

a pak pro optimální lokální vnitřní průměr i-té části kruhového potrubí při zachování doporučené rychlosti proudění chladiva w_i v různých typech potrubí, (tab. 1) platí

$$d_i = \sqrt{\frac{4 \cdot S_i}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{Q} \cdot v_i}{\pi \cdot w_i \cdot (h_1 - h_5)}} \quad (4)$$

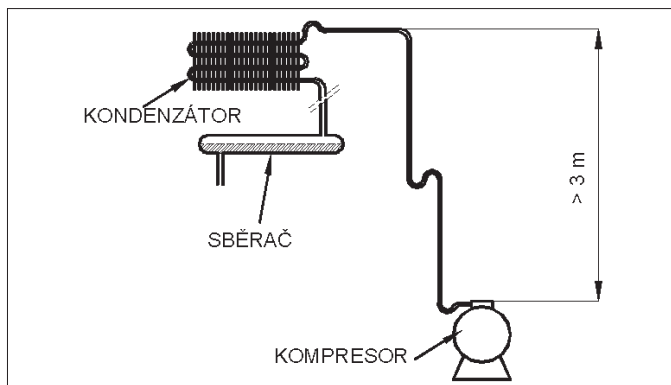
Vnější průměr potrubí se stanoví pevnostním výpočtem. Materiál potrubí volíme dle druhu používaného chladiva, [2], [4].

KONSTRUKČNÍ USPOŘÁDÁNÍ POTRUBNÍCH SYSTÉMŮ

V následujícím textu jsou popsána důležitá praktická doporučení pro projektanty, techniky a montážní firmy, týkající se návrhu a instalace potrubí pro rozvod chladiva.

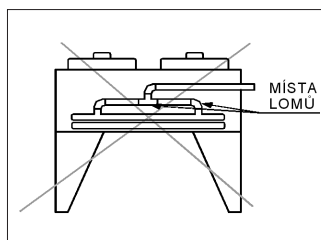
Výtlačné potrubí

V případech, kdy je kondenzátor umístěn výše než kompresorová jednotka, je nutné zhotovit za výstupním hrdlem nejdříve ohyb směrem dolů (sifon), čímž zabráníme stékání oleje do hlav kompresoru za klidu. Rovněž u stoupajícího potrubí umísťujeme po méně jak 3 metrech smyčky (sifony), obr. 3.

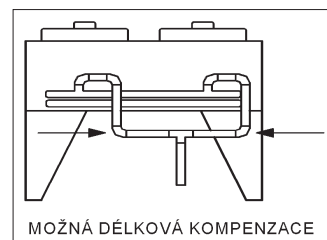


Obr. 3 Smyčka (sifon) ve stoupací části potrubí

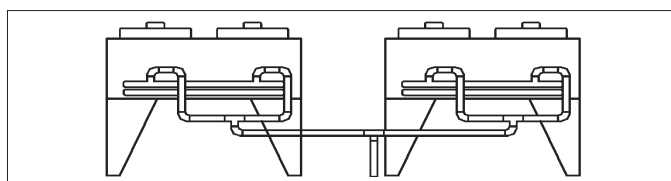
Výtlačné potrubí je třeba zaústit do kondenzátoru vždy shora. Při montáži potrubí a rozmísťování držáků musíme respektovat tepelnou roztažnost potrubí. Pro izolaci přírodního výtlačného potrubí do rekuperační jednotky pro zpětné získávání tepla je vhodné používat izolace s teplotní odolností do 150 °C a na útlum chvění používat pružných elementů a chránit potrubí proti mechanickému poškození. Na obr. 4a je znázorněno špatné zapojení kondenzátoru se dvěma vstupy a obr. 4 b znázorňuje správné zapojení tohoto kondenzátoru. Obr. 4 c uvádí správné propojení kondenzátorů stejného typu pracujících paralelně.



Obr. 4a Špatné zapojení kondenzátorů



Obr. 4b Správné zapojení kondenzátorů

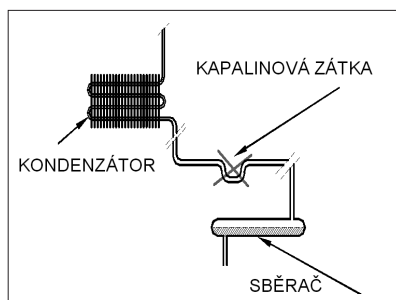


Obr. 4c Správné zapojení kondenzátorů pracujících paralelně

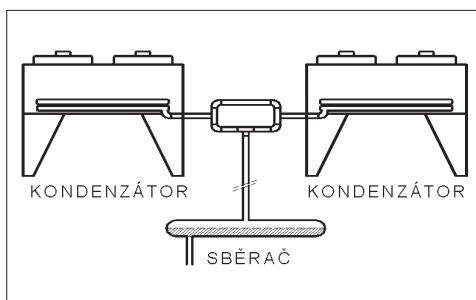
Potrubí kondenzátní

Při dimenzování kondenzátního potrubí musíme dodržovat maximální rychlost proudění 0,5 m.s⁻¹, přitom je třeba v posloupnosti vyráběných průměrů volit průměr tohoto potrubí o jeden stupeň větší, než je výstup hlavního kapalinového potrubí ze sběrače.

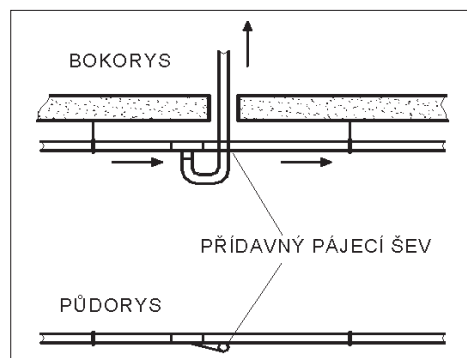
Potrubí je třeba vést s dostatečným trvalým spádem 2 až 5 % a nejkratší možnou cestou ke sběrači. Takové uspořádání zaručuje volný výtok kapaliny z kondenzátoru do sběrače chladiva a volné proudění par chladiva ze sběrače zpět do kondenzátoru (dvoufázové proudění). Na obr. 5a je uvedeno chybné zapojení kondenzátoru, kde se vytvořila kapalinová zátka. Na obr. 5b je uveden příklad správného zapojení kondenzátoru a sběrače chladiva u dvou paralelně pracujících kondenzátorů stejného typu.



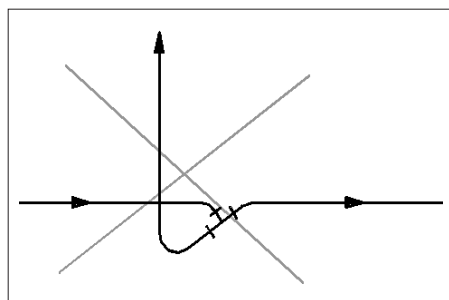
Obr. 5a Nesprávné zapojení kondenzátoru a sběrače chladiva s kapalinovou zátkou



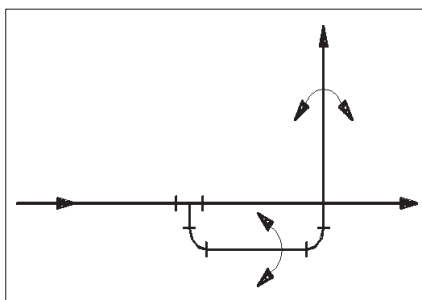
Obr. 5b Správné zapojení kondenzátoru a sběrače chladiva



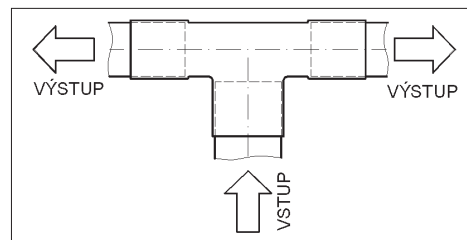
Obr. 7 Spoj odbočky s hlavním potrubím fixovaný pomocným pájecím švem



Obr. 6a Odbočka kapalinového potrubí zapojená nesprávně



Obr. 6b Odbočka kapalinového potrubí zapojená správně



Obr. 8 Vstup do tvarovky typu T a výstupy z tvarovky typu T

Kapalinové potrubí

Zařízení pracující s chladivem R 134a a R 404A používají souběžné vedení sacího a kapalinového potrubí, kdy dochází k podchlazení kapaliny. Při větších převýšeních stoupacího potrubí vznikají větší tlakové ztráty, které musíme eliminovat podchlazením kapaliny a části potrubí s podchlazenou kapalinou izolovat. U rozsáhlých potrubních sítí s větším počtem přípojných míst musíme věnovat zvláštní pozornost odbočkám (rozdělení) kapalinového potrubí, které instalujeme zásadně zdola a zásadně nepoužíváme kolena 45°. Na obr. 6a je uvedeno špatné zapojení kapalinového potrubí oblouky 45°, obr. 6b uvádí správné odbočku kapalinového vertikálního potrubí oblouky 90° s možností teplotní roztažnosti.

Velké nebezpečí poškození potrubí a úniků chladiva vlivem mechanického namáhání nastává, pokud je vertikálně vedená odbočka z kapalinového potrubí dlouhá. Vzniká dilatace obou částí a tím následné poškození potrubí. Jako účinná ochrana se jeví fixování spoje odbočky s hlavním potrubím přídavným pájecím švem, viz obr. 7. Tato úprava je důležitá zejména u odboček s pájenými spoji.

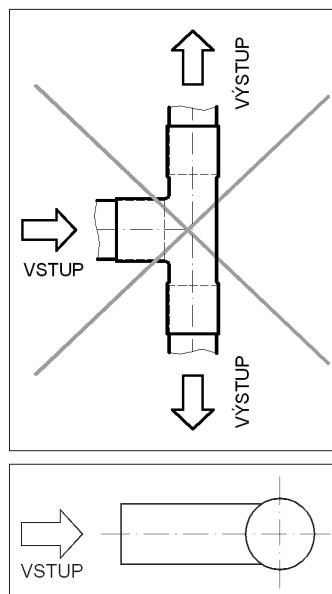
Pokud je kapalina podchlazená o více jak 20 K, je třeba eliminovat působení kapalinových rázů „kluznými“ držáky. Pro dělení kapalinového potrubí tvarovkami typu T dodržovat uspořádání vstupu a výstupů dle obr. 8. Obdobně je potřeba řešit i slučování. Není vhodné zhotovovat výstupy svisle nad sebou, ale vždy jen vodorovně viz, obr. 9 a, b.

Potrubí expandovaného chladiva a hlavní zásady pro jeho dimenzování.
Pro výstup expandovaného chladiva z expanzního ventilu je třeba volit polohu ve směru shora dolů, čímž se snižuje nebezpečí ucpání trysky nečistotami. Pro odtávání chladnými (sytlými) nebo horkými parami brát v úvahu, že při odtávacím cyklu je potrubí vystaveno tlaku blízkému se tlaku kondenzačnímu a teplotám až +40 °C.

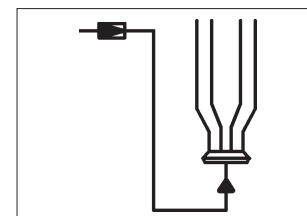
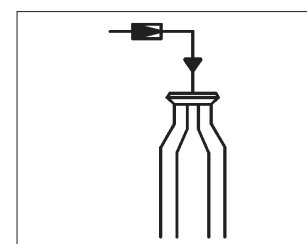
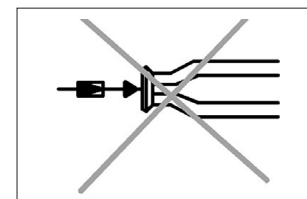
Při použití rozdělovače chladiva platí doporučení, které nelze jednoduše zahrnout do výpočtových podkladů. Jedná se především o následující zásady:

- Vzdálenost mezi rozdělovačem a expanzním ventilem volíme co nejmenší a v ideálním případě umístíme rozdělovač přímo na ventily.

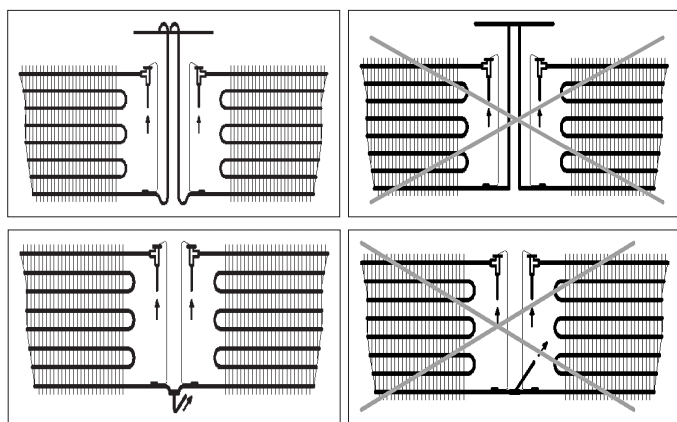
- Polohu rozdělovače volíme zásadně tak, aby chladivo protékalo svisle, směrem shora dolů, nebo zespodu nahoru, (obr. 10) pokud výrobce rozdělovače výslovně nepřipouští libovolnou polohu rozdělovače.
- Jednotlivé sekce (pavouky) od rozdělovače k výparníku musí být zásadně stejně dlouhé s rovnoměrnými ohyby a bez zužování.
- Snažíme se zabránit vzniku olejových zátek (správnou polohou rozdělovače shora dolů, nebo zdola nahoru), které mohou vznikat při nižších vypařovacích teplotách.
- Snažíme se dodržovat průměry potrubí v sekcích rozdělovače, které předepisuje výrobce.



Obr. 9 Vstupy a výstupy u tvarovky T
a) Špatná montáž s výstupy ve svislé poloze nad sebou – nahoře
b) Správná montáž s výstupy ve vodorovné poloze – dole



Obr. 10 Rozdělovač chladiva při vícenásobném nástřiku
a) Špatně,
b) Správně shora dolů,
c) Správně zdola nahoru



Obr. 11 Správné a špatné příklady zapojení sání u dvou výparníků umístěných vedle sebe

- a) Správně
b) Špatně
c) Správně
d) Špatně

Sací potrubí

Pro sací potrubí musíme volit kompromis mezi minimální tlakovou ztrátou zaručenou velkým průměrem potrubí a mezi nutností dodržet určitou minimální rychlost proudění, viz tab.1, důležitou pro vrácení oleje v chladicím zařízení.

Ve směru proudění chladiva u vodorovných úseků volíme spád 2 %, který zaručuje kontinuální vrácení oleje i při snížení výkonu u jednotek sestavených z několika kompresorů (sdružených kondenzačních jednotek), kdy dochází ke skokové změně výkonu, nebo regulaci výkonu otáčkami apod. Pokud dojde k náhlému zvýšení výkonu a rychlosti proudění a jednotky nejsou vybaveny sací komorou, může docházet ke kapalinovým rázům. V minulosti uváděný spád 1:100 byl platný pro chladiva, která se dobře mísí s olejem, u nových chladiv je tento spád nedostatečný.

Před každým stoupáním potrubí u zařízení bez výkonové regulace vytváříme sifony, kde musíme dávat velký pozor, aby nevznikaly kapalinové zátky. Výškové rozdíly překonáváme zásadně svisle, v žádném případě ne šikmo.

Sací potrubí je třeba vždy izolovat a průchod přes zdivo musíme izolovat i proti vlhkosti. V žádném případě nesmí být sací potrubí pokládáno nad potrubí výtlačné. Pokud je nevyhnutelné vést tato potrubí současně, je vhodné sací potrubí umístit pod potrubí výtlačné a důsledně izolovat.

U nových chladiv se používá souběžné vedení sacího potrubí a potrubí kapalinového, kdy dochází k podchlazování kapaliny.

Zásady pro používání tvarovek typu T (obr. 8 a obr. 9) jsou stejné jako u kapalinového potrubí, navíc u sacího potrubí musí být montováno tak, aby nedocházelo k ovlivňování výparníků nebo expanzních ventilů. Dále je nutné rozlišovat případy zapojení dvou výparníků umístěných nad sebou

a dvou výparníků umístěných vedle sebe. Na obr. 11 a, c je uvedeno správné zapojení výparníků umístěných vedle sebe, naopak obr. 11 b, d uvádí chybné zapojení výparníků umístěných vedle sebe. Obr. 12 a, znázorňuje správné zapojení dvou výparníků umístěných nad sebou. Obr. 12 b, c, ukazuje chybné zapojení dvou výparníků umístěných nad sebou.

Důležité je volit vhodné rychlosti proudění chladiva, protože příliš velké rychlosti způsobují velké tlakové ztráty a tím vysoké provozní náklady naopak malé rychlosti zvyšují pořizovací náklady zařízení. Důležité je brát ohled na provozní dobu zařízení a ceny energií. U zařízení pracující okolo 1000 hodin za rok volíme rychlosti vyšší naopak u zařízení pracujících nad 5 000 hodin za rok je vhodné volit rychlosti proudění chladiva nižší.

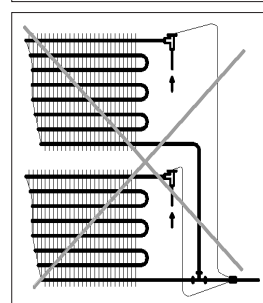
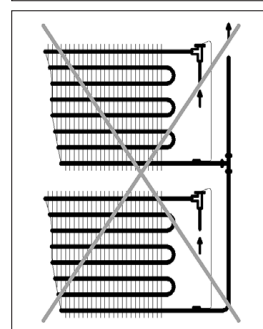
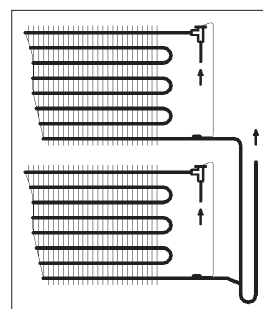
ZÁVĚR

Správně navržené spojovací potrubí u chladicích zařízení zaručuje spolehlivý a úsporný provoz. Nesprávná montáž má za následek především větší energetickou náročnost. V krajních případech může nesprávné řešení a montáž zapříčinit poruchy chladicího zařízení, nedosažení projektovaných parametrů, poškození kompresorů zadřením v důsledku nedostatku oleje, nebo nadměrné zatěžování hlav kompresoru a jejich poškození vlivem velké tlakové ztráty.

Hlavní zásady navrhování a montáže spojovacího potrubí uvedené v tomto textu mohou tato rizika poškození chladicího zařízení eliminovat.

Použité zdroje:

- [1] Ulrich, J. H., Smutný, F., *Chladicí technika II*, Překlad: Svaz CHKT s.r.o., Komunardů 6, Praha 7, Praha 2000., ISBN 80-238-5889-0
- [2] Dvořák, Z., *Základy chladicí techniky*, Ediční středisko ČVUT, Praha 1, Husova 5, leden 1992
- [3] Fencel, Z. *Zpravodaj Svazu chladicí a klimatizační techniky*, květen 2005
- [4] Chlumský, V. a kolektiv: *Technika chlazení*. SNTL-Nakladatelství technické literatury, Technický průvodce svazek 48, Praha 1971.



Obr. 12 Správné a špatné příklady zapojení sání u dvou výparníků umístěných nad sebou

- a) Správně
b) Špatně
c) Špatně