

Kapitola	Názov	Strana
6	TECHNICKÉ DETAILS CHLADIACEHO OBEHU	1
6.1	Fyzikálne východiská	2
6.1.1	Fyzikálne jednotky (v SI sústave jednotiek)	2
6.1.2	Zmeny stavu	6
6.1.3	Termodynamický obeh	9
6.1.4	Diagram logaritmus tlaku-entalpia	9
6.2	Princípy činnosti chladiaceho obehu	10
6.3	Chladiaci proces – úplný obeh	11
6.4	Komponenty chladiaceho okruhu	13
6.4.1	Kompresor	13
6.4.2	Expanzný ventil	14
6.4.3	Výparník	15
6.4.4	Kondenzátor	16
6.4.5	Armatúry a príslušenstvo	18
6.4.6	Mazací olej	19
6.4.7	Chladivo	19
6.5	Charakteristiky chladiaceho obehu	21
6.5.1	Výkonové číslo COP	22
6.5.2	Carnotova porovnávací účinnosť	22
6.5.3	Sezónny výkonový faktor SPF	24
6.5.4	Dôležité prevádzkové parametre	23
6.6	Štandardizované výpočty COP a SPF	27
6.7	Kontrolné otázky	28
	PRAKTICKÉ CVIČENIA	29

6 P-H DIAHRAM A TECHNICKÉ DETAILS CHLADIACEHO OBEHU

V tejto sekcii kľúčovými spôsobilosťami pre certifikáciu inštalátora chladiacich okruhov podľa EHPA a EN13313 sú:

- ◆ Fyzikálne princípy: fyzikálne jednotky, zmeny stavu, obehový proces, diagram logaritmus tlaku - entalpia ($\log p - h$), kvantifikácia chladiaceho obehu v $\log p-h$ diagrame. (Doplňkové)
- ◆ Princípy činnosti (prevádzky): vyparovanie chladiva pri nízkej teplote, kondenzácia chladiva pri vysokej teplote. (Dôležité)
- ◆ Charakteristiky chladiaceho obehu: vzťah medzi nízkymi teplotami tepelného odpadu, vysokými teplotami zdroja tepla a efektívnosťou systému. (Povinné)
- ◆ Kompresor: funkcia, používané typy, princípy chodu, výhody a nevýhody rôznych typov (Dôležité)
- ◆ Expanzný ventil: funkcia, používané typy, princípy činnosti, výhody a nevýhody rôznych typov. (Dôležité)
- ◆ Výparník: funkcia a typy. (Dôležité)
- ◆ Kondenzátor: funkcia a typy. (Dôležité)
- ◆ Armatúry a príslušenstvo: funkcia rôznych zariadení. (Dôležité)
- ◆ Mazací olej: funkcia v obeh, možné problémy a prevencia chýb. (Dôležité)
- ◆ Chladivo: funkcia, používané druhy, požadované priesozorníky a vlastnosť teplotného skľuzu. (Dôležité)
- ◆ Prehriatie a podchladenie: prečo je požadované prehriatie a podchladenia, dosiahnutie prehriatia a podchladenia, zvyčajné veľkosti prehriatia a podchladenia. (Dôležité)
- ◆ Určenie COP a SPF. (Povinné)
- ◆ Znalosti rozdielov medzi testovacími podmienkami pre tepelné čerpadlá, vplyv meracích bodov na výsledky testov. (Doplňkové)

6.1 Fyzikálne východiská

6.1.1 Fyzikálne jednotky (v SI sústave jednotiek)

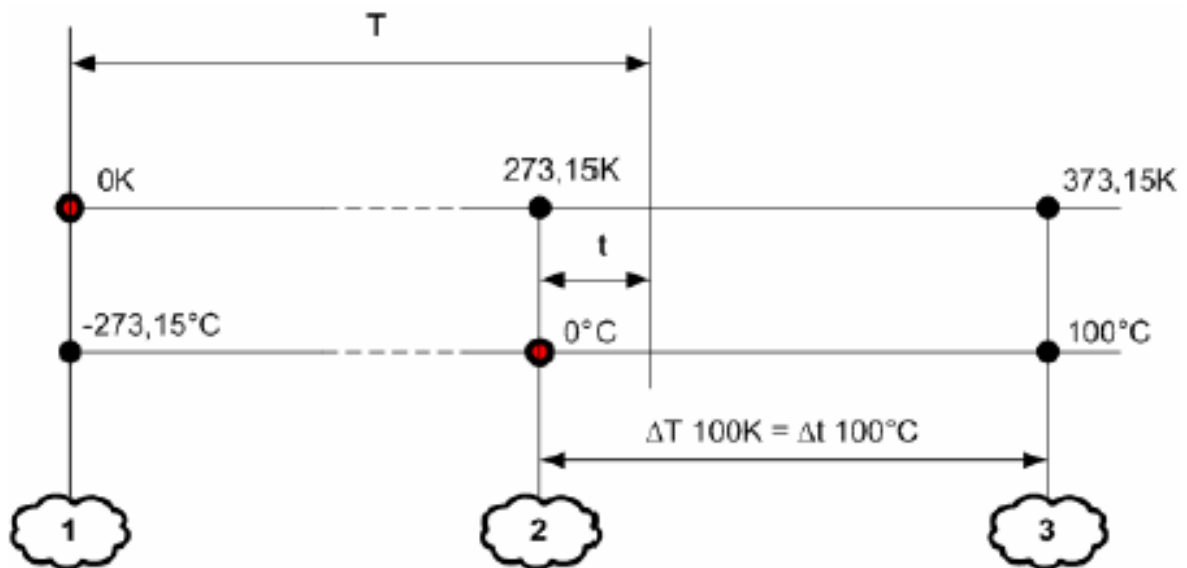
Medzinárodný systém jednotiek známy ako SI systém je racionálny systém meranie jednotiek pre vedecké účely, technicky a obchodne prevzatý medzinárodnými normovacími organizáciami. Je používaný v Európe a väčšine ostatného sveta. Bol vyvinutý z „metrického“ systému so známymi základnými jednotkami: meter, kilogram a sekunda. Niektoré ďalšie menej známe jednotky používané pri výpočtoch chladiaceho obehu sú popísané v ďalšom.

Teplota

Jednotkou SI sústavy pre teplotu je Kelvin (K). Kelvinova stupnica teploty začína pri absolútnej nule (0 K), čo je ekvivalent $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ na Celsiusovej teplotnej stupnici. To je najnižšia teplota akú je možné teoreticky dosiahnuť. Kelvinova stupnica je taktiež známa ako absolútna teplotná stupnica, alebo termodynamická teplotná stupnica.

Prakticky používané teploměry sú väčšinou kalibrované v Celsiusovej stupnici, kde bod tuhnutia vody pri normálnom atmosferickom tlaku je $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a bod varu vody pri normálnom atmosferickom tlaku je $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. V tomto texte je teplota v Kelvinovej stupnici označovaná T a v Celsiusovej ako t (alebo ϑ). Prepočet je $T = t + 273,15$

Teplotné rozdiely merané v Celsiusovej a Kelvinovej teplotnej stupnici sú totožné, teda rozdiel $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ je taký istý ako 1 K, len stupnica je posunutá jedna voči druhej ako je ukázané na obrázku č.1.



Obrázok 6.1 Teplotné stupnice

- 1 absolútna 0
- 2 bod tuhnutia vody (pri normálnom tlaku $p_0 = 1013,25\text{ mbar}$)
- 3 bod varu vody (pri normálnom tlaku)

Rozdiel medzi dvomi teplotami môže byť v ďalšom označovaný rozdielnymi symbolmi „ Δ “ a ΔT .

Tlak

Tlak p je sila F pôsobiaca kolmo na jednotku plochy A

$$p = \frac{F}{A}$$

V SI systéme je jednotkou tlaku Pascal (Pa)

$$p = \frac{N}{m^2} = \frac{kg \cdot m}{s^2} \cdot \frac{1}{m^2} = \frac{kg}{s^2 \cdot m} = 1 Pa$$

Pascal je veľmi mala jednotka, takže praktické merania tlakových systémov sú zvyčajne vyjadrované v kPa (1000 Pa) alebo baroch.. Prepočet medzi barom a Pascalom: 1 bar = 10^5 Pa = 10^2 kPa = 10^3 mbar.

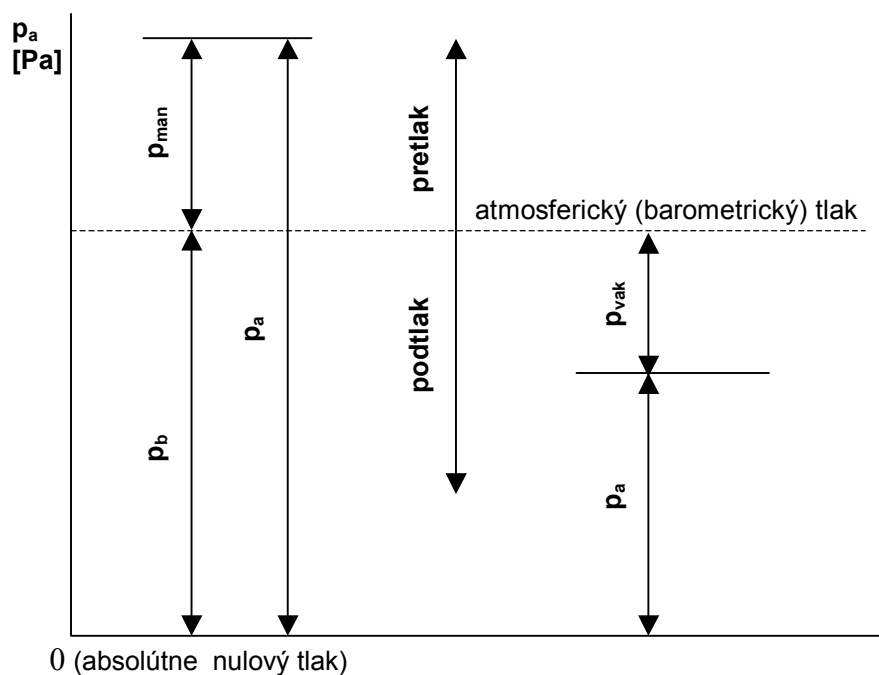
V praktickej oblasti technológie vzduchu a vody je tlak niekedy vyjadrovaný ako výška stĺpca vody alebo ortuti nad meracím bodom, na príklad:

1 mm vody = 9,81 Pa

1 mm ortuti (Hg) = 133,32 Pa

V každom prípade je potrebné brať do úvahy rozdiel medzi relatívnym a absolútnym tlakom.

Absolútny tlak je meraný vzhľadom k absolútnemu vákuu - absolútnej tlakovej nuly. Väčšina prístrojov merajúcich tlak je ale kalibrovaná odčítaním nuly pri atmosférickom tlaku a preto indikujú rozdiel medzi absolútnym a atmosférickým (*barometrickým*) tlakom. Tento rozdiel sa nazýva manometrický tlak (*alebo pretlak*) pri vyššom tlaku ako je atmosférický a pri nižšom tlaku ako atmosférickom sa nazýva vákuum alebo podtlak. Pretlak sa meria manometrami, atmosférický tlak barometrami a vákuum sa meria vákuometrami. Absolútny tlak je potom možné v závislosti na atmosférickom tlaku a údaju manometra alebo vákuometra určiť nasledovne (*pozri tiež obrázok 2*):



- ◆ Absolútny tlak (p_a) = atmosférický tlak (p_b) + relatívny tlak (*pretlak* p_{man})
- ◆ Absolútny tlak (p_a) = atmosférický tlak (p_b) - relatívny tlak (*podtlak* p_{vak})

Hoci atmosférický tlak vzduchu kolíše medzi 0,95 a 1,05 v závislosti od počasia, tieto zmeny sú pre praktické merania na vodných a chladivových systémoch zvyčajne nevýznamné, takže ako referenčný tlak je braný 1 bar.

V termodynamických vzťahoch sa pri výpočtoch vždy používa hodnota absolútneho tlaku.

Energia, práca a teplo

Energia, práca a teplo sú merané v Jouloch (J), alebo (N.m) - čo sú ekvivalentné jednotky.

- ♦ Energia (E) je fyzikálna miera pohybu hmoty, v technike často definovaná ako schopnosť konať prácu. Môže existovať v rôznej forme, ako energia mechanická, tepelná, magnetická elektrická, chemická, jadrová a iné a ich suma tvorí celkovú energiu systému.
- ♦ Teplo (Q) je forma prenosu energie medzi dvomi telesami v dôsledku rozdielu teplôt, pričom smer prenosu energie je vždy z telesa s vyššou teplotou na teleso s nižšou teplotou.
- ♦ Práca (W) tak ako teplo je forma prenosu energie medzi telesami a udáva množstvo energie prenesené počas ich interakcie. (*Práca 1 Joule alebo N.m je vykonaná, keď sila 1 Newton pôsobí a pohybuje bod aplikácie po dráhe 1 metra pozdĺž línie akcie sily*).

Termodynamické výpočty vlastností tekutín sa zvyčajne vzťahujú na 1 kg tekutiny. Teplo prenášané 1 kg látky je teda možné určiť nasledovným vzťahom:

$$q = \frac{Q}{m} \left[\frac{\text{J}}{\text{kg}} \right]$$

Joule je veľmi malé množstvo energie, takže sa všeobecne v praktických výpočtoch používajú kilojouly. 1 kilojoule je tisíc Joulov (1 kJ = 10³J)

Špecifická tepelná kapacita c

Špecifická tepelná kapacita (c) je množstvo tepla potrebné na zvýšenie teploty 1 kg látky o 1 K (*bez zmeny stavu ako je na príklad z kvapaliny na plyn*)

Teplo potrebné (Q) na zvýšenie teploty hmotnosti (m) z teploty t₁ na teplotu t₂ sa vypočíta ako:

$$Q = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1)$$

Špecifická tepelná kapacita látky závisí od jej teploty. Stredná špecifická tepelná kapacita vody (c_m) medzi 0 a 100 °C je 4,187 kJ / kg.K

Príklad

Vypočítajte teplo potrebné na zvýšenie teploty 12 litrov vody z 10 na 45 °C. Predpokladajte, že pre približné výpočty pri nízkych teplotách 1 liter vody má hmotnosť 1 kg.

(c_m = 4,187 kJ / kg.K)

$$Q = m \cdot c_m \cdot (t_2 - t_1) = 12 \text{ kg} \cdot 4,187 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (45 - 10) \text{ K} = 1758,5 \text{ kJ}$$

Výkon (príkon)

Výkon (P) je množstvo práce vykonanej alebo energie prenesenej za jednotku času:

$$\text{Príkon} = \frac{\text{práca}}{\text{čas}} = \frac{\text{teplo}}{\text{čas}} = \frac{\text{energia}}{\text{čas}}$$

SI jednotkou pre výkon je watt (W)

$$1 \text{ W} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 1 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{s}}$$

Príklad

Vypočítajte príkon potrebný pre ohrievač vody pre zvýšenie jej teploty z 10 na 45 °C pri prietoku 12 litrov za minútu ($c_m = 4,187 \text{ kJ / kg.K}$, 1 liter vody = 1 kg).

Objemový tok vody 12 l/min = 0,2 kg/s

$$P = \dot{m} \cdot c_m \cdot (t_2 - t_1) = 0,2 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 4,187 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (45 - 10) \text{K} = 29,3 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 29,3 \text{ kW}$$

Entalpia

Entalpia (H) je vlastnosť látky charakterizujúca energetický stav prúdiacej látky v otvorenom systéme v závislosti od jej teploty, tlaku a stavu (*pevná, kvapalná, plynná fáza alebo zmes fáz*) definovaná vzťahom:

$$H = U + p \cdot V$$

kde U je vnútorná energia látky, p je jej tlak a V objem.

Vnútorná energia U je vlastnosť systému charakterizujúca jeho energetický stav, je to suma kinetickej a potenciálnej energie chaotického pohybu molekúl látky a jej zmena je pre ideálny plyn iba funkciou zmeny teploty (*neuvažujeme pritom pri skúmanom prúdení látky zmenu jej chemickej a jadrovej energie*).

Súčin p.V vyjadruje energiu prúdu - prácu potrebnú na udržanie kontinuálneho prúdenia tekutiny (*vtláčanie a vytlačanie hmotnosti cez kontrolný objem*).

Špecifická entalpia je celková entalpia na jednotku hmotnosti: $h = H/m$ [J/kg]

Zmeny entalpie určujú rýchlosť prenosu energie (tepla a práce) v obehu tepelného čerpadla. Tepelný (Q) alebo mechanický (P) výkon alebo príkon v chladiacom obehu je potom daný vzťahmi

$$Q = \dot{m} \cdot \Delta h$$

$$P = \dot{m} \cdot \Delta h$$

kde \dot{m} je hmotnosť chladiva prechádzajúca obehom tepelného čerpadla za jednotku času (kg/s).

Entrópia

Entrópia (S) je ďalšou vlastnosťou látky, ktorá reprezentuje zmenu vlastností termodynamického systému. Jej celková zmena spojená s ľubovoľnými procesmi v tepelne izolovanom uzavretom systéme musí byť kladná (*jej hodnota pri reálnych procesoch v dôsledku degradácie tepelnej energie a disipácie mechanickej energie vždy vzrastá, v limite zostáva konštantná*). Zmeny špecifickej entrópie (s) látky počas procesu sú meradlom degradácie energie, teda znižovanie jej kvantity využiteľnej pre zisk práce. Zmenu entrópie látky je možno vyjadriť v diferenciálnej forme vzťahom:

$$dS = \frac{dQ}{T}$$

kde dQ je množstvo tepla prenesené medzi látkou a okolím, T je absolútna teplota na dráhe procesu. Znamienko > platí pre reálne procesy, znamienko = pre ideálne (*vrátné*) procesy.

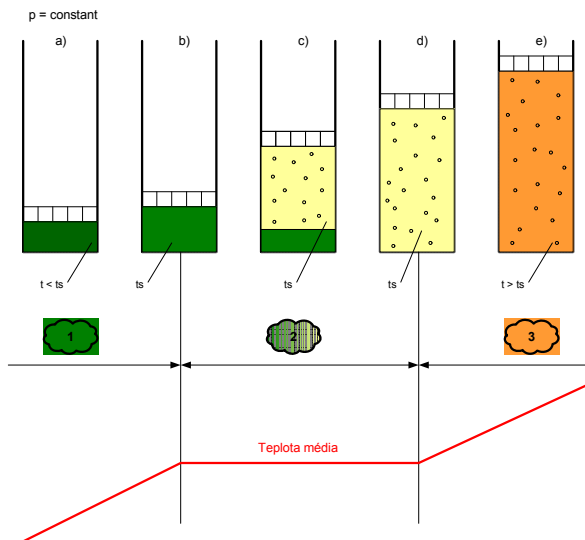
Tak isto ako entalpia aj entrópia je dôležitá pre pochopenie chladiacich obehov. Zmeny entrópie chladiva pri dodávaní pohonnej energie určujú efektívnosť obehov tepelného čerpadla (*s nárastom entrópie úmerne narastajú energetické straty*).

1.1.2 Zmeny stavu

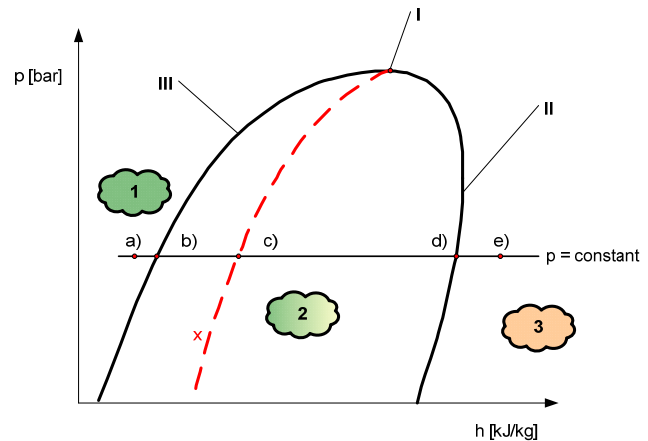
Stav látky môže byť tuhý, kvapalný alebo plynný ale vnútri uzavretého systému môžu dva stavy koexistovať v závislosti na teplote a tlaku. V chladiacích obehoch sa zaujímate o premeny medzi kvapalinou a plynom. Vyparovanie pri konštantnom tlaku sa vyskytuje v troch rozdielnych fázach - kvapalina, kvapalina a para a prehriata para (plyn). Nasledovné princípy sú platné pre vyparovacie procesy všetkých kvapalín.

Fázy vyparovania

v hrnci (nádobe)



v diagrame log p - h (pozri tiež 6.1.4)



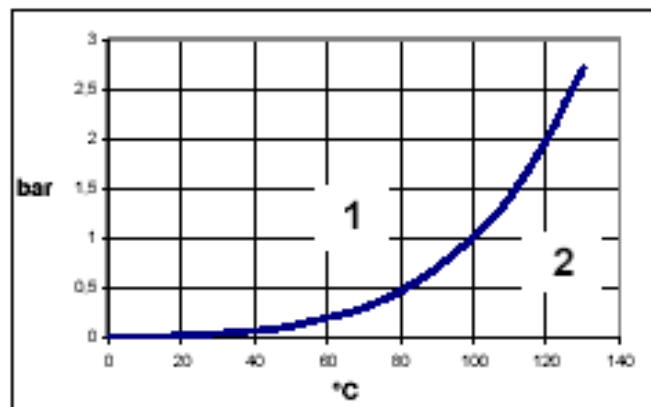
Obrázok 6. 3 Fázy vyparovania
1 ohrievanie kvapaliny
2 vyparovanie
3 prehrievanie plynu

Obrázok 6. 4 Stavy vyparovania v log p - h diagrame
1 kvapalina
2 mokrá para
3 prehriata para
I kritický bod
II medzná krivka sýtej pary
III medzná krivka sýtej kvapaliny

- Kvapalina:** Teplota kvapaliny je pod bodom varu. Ak je čistá kvapalina v bode (a) ohrievaná pri konštantnom tlaku, teplota sa bude zvyšovať
- Nasýtená kvapalina:** Kvapalina dosiahla jej bod varu (t_s). Teplota varu známa tiež ako teplota nasýtenia závisí od tlaku. Medzná krivka kvapaliny, SLL (III na obrázku 4) označuje body varu kvapaliny pri rôznych tlakoch.

Voda ako príklad

Pri normálnom atmosférickom tlaku je bod varu vody $100\text{ }^\circ\text{C}$ ($t_s = 100\text{ }^\circ\text{C}$ pre $p_s = 1,013\text{ bar}$). Pri nižšom tlaku, napríklad $0,123\text{ bar}$ voda vrije pri $50\text{ }^\circ\text{C}$.



Obrázok 6. 5 Medzná krivka nasýtenej kvapaliny pre vodu, 1 kvapalina, 2 para

c) Mokrú para: SLL/SVL krivky sú hranicou oblastí v p-h diagrame, kde koexistuje kvapalina a para. Vnútri tejto oblasti, keď je kvapalina mierne ohrievaná, časť z nej sa premieňa na paru. Táto oblasť je veľmi dôležitá, pretože veľa technických procesov sa odohráva v mokrej pare.

Mokrú para je zmes vriacej kvapaliny (*bod b*) a nasýtenej pary (*bod d*), ktoré sú v termodynamickovej rovnováhe. Majú preto ten istý tlak a teplotu (stav nasýtenia p_s , t_s)

Stav mokrej pary nemôže byť definovaný pomocou tlaku alebo teploty pokiaľ nie je daná ďalšia vlastnosť. Stav alebo „kvalita“ mokrej pary je definovaný obsahom pary. Obsah pary (x) je daný množstvom vyparenej kvapaliny v danom bode.

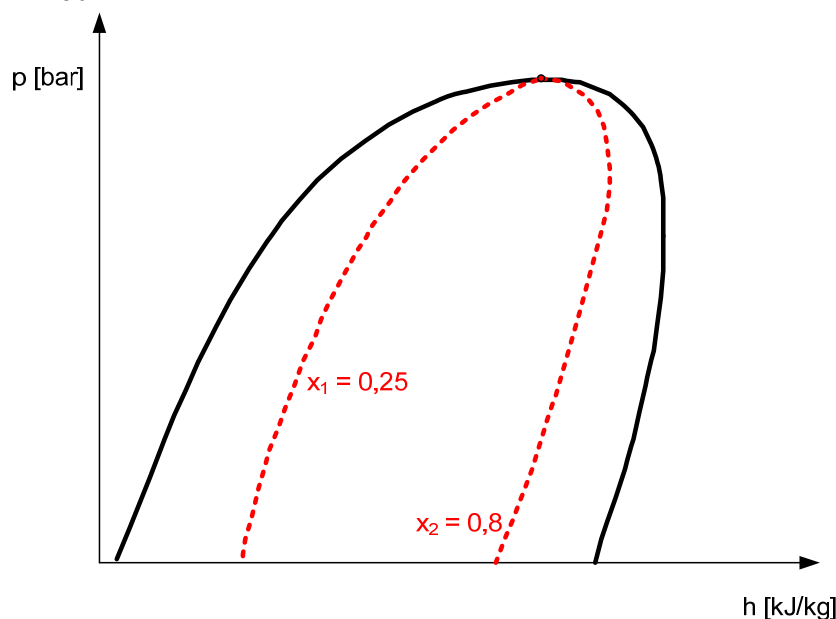
Na medznej krivke nasýtenej kvapaliny (*na ľavej strane diagramu*) $x = 0$, teda je tam len kvapalina a žiadna para.

Na medznej krivke sýtej pary (*pravá strana diagramu*) $x = 1$, teda je tam len para a žiadna kvapalina.

Keď tekutina vnútri SLL /SVL kriviek je ohrievaná pri konštantnom tlaku tak všetka dodávaná energia bude využitá na zvýšenie obsahu pary (x). teplota zostáva konštantná počas celého vyparovacieho procesu. Táto zmena je charakterizovaná horizontálnou priamkou v p-h diagrame.

Keď sa tlak zvyšuje, ale teplota zostáva konštantná, potom časť pary bude kondenzovať a bude sa znižovať obsah pary (x). Táto zmena je charakterizovaná vertikálnou priamkou v p-h diagrame.

Príklad:



- ◆ $x_1 = 0,25$ znamená, že 25% látky je para a zvyšok 75 % je kvapalina (*bod x_1 je blízko medznej krivky varu kvapaliny, teda väčšina látky je kvapalina*)
- ◆ $x_2 = 0,8$ znamená, že 80% látky je para a zvyšok 20 % je kvapalina (*bod x_2 je blízko medznej krivky sýtej pary, teda väčšina látky je para*)

Obrázok 6.6 Obsah pary v log p - h diagrame

d) Sýta para: kvapalina je celkom vyparená, stále platí tlak nasýtenia p_s a teplota bodu varu. Tento bod je presne na kondenzačnej krivke (*medzná krivka nasýtenej pary*).

e) Prehriata para: ďalšie ohrievanie suchej nasýtenej pary (*bod d*) pri konštantnom tlaku zapríčiňuje zvyšovanie teploty pary a tá sa stáva „prehriatou“ (*bod e*). Prehriata para má vyššiu teplotu ako je bod varu t_s . Prehriatu paru nemožno jednoducho skondenzovať pomocou zvýšenia tlaku.

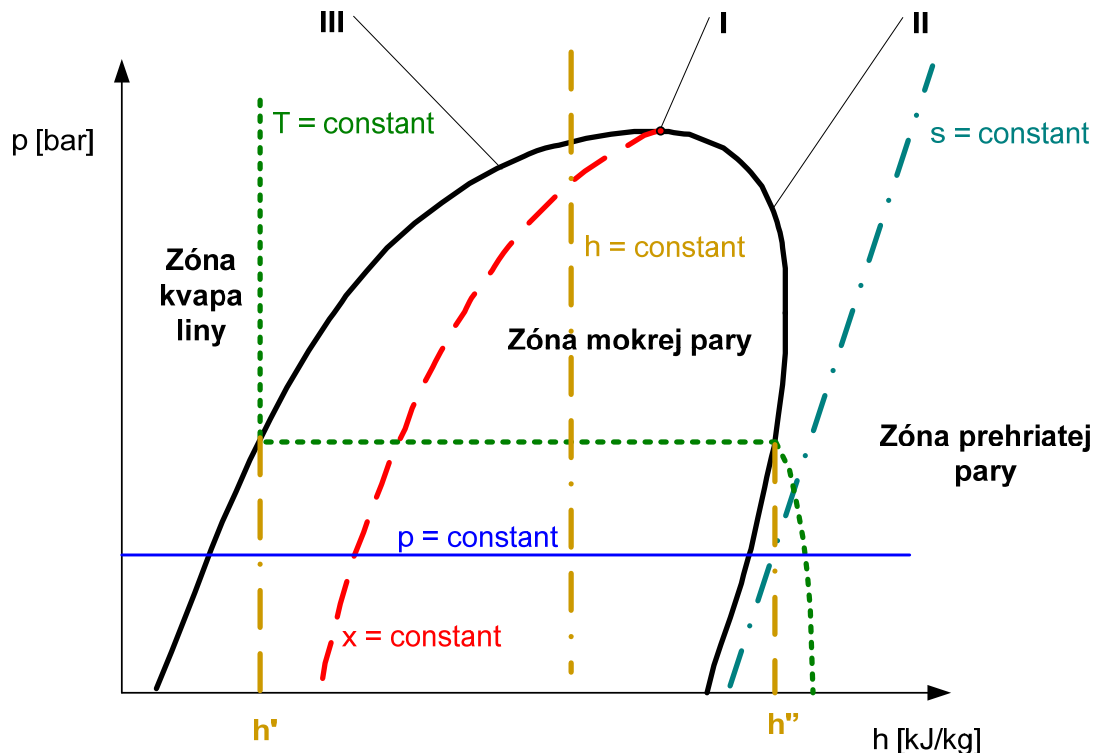
Vyparovací proces popísaný pre vodu platí pre veľa tekutín aj keď sa odpovedajúce teploty a tlaky vzťahované k jednotlivým stavom významne menia.

6.1.3 Termodynamický obeh

Termodynamický obeh je definovaný ako proces v ktorom pracovná látka prechádza viacerými zmenami stavu pred konečným navrátením sa do východzieho stavu. Termodynamický proces je znázornený v hocakom diagrame vlastností pracovnej látky ako uzatvorená krivka. Teplo môže byť počas obehu transformované na prácu alebo obrátene.

6.1.4 Diagram logaritmus tlaku - entalpia

Log p - h diagram chladív je používaný pre popis procesov v chladiacom zariadení a tepelnom čerpadle. Tento diagram je často používaný pre výpočet chladiacich obehov pre jednoduché odčítanie zmien entalpie a tým prenášaných energetických tokov.



Obrázok 6.7 Diagram log p - h

- I kritický bod
- II medzná krivka sýtej pary (kondenzačná krivka)
- III medzná krivka nasýtenej kvapaliny (krivka varu)

$s = \text{konšt.}$ – krivka konštantnej entropie – ideálny kompresný proces, pri reálnej kompresii entropia vzrastá

Medzné krivky II a III rozdeľujú log p - h diagrame na tri základné oblasti – oblasť čistej kvapaliny, mokrej pary a prehriatej pary. Izoterm (krivky konštantnej teploty) prebiehajú v oblasti medzi medznými krivkami varu a kondenzácie (III a II) ako horizontálne priamky (sú súčasne izobarami).

V oblasti čistej kvapaliny naľavo od medznej krivky III ($x = 0\%$) prebiehajú izoterm vertikálne (kolmo na os tlaku). V oblasti prehriatej pary napravo od medznej krivky II ($x = 100\%$) prebiehajú izoterm ako exponenciálne krivky smerom k osi entalpie.

Rozdiel entalpií sýtej pary a vriacej kvapaliny (medzi krivkami II a III) je tzv. výparne teplo $r = h'' - h'$. Z diagramu log p - h je vidieť, že výparné teplo klesá so zvyšujúcim sa tlakom a teplotou až do bodu, kde celkom zmizne – tento bod, kde nie je rozdiel medzi kvapalinou a parou sa nazýva kritický bod. Pre vodu je kritický tlak 221 bar a kritická teplota 374 °C.

6.2 Princípy činnosti chladiaceho obehu

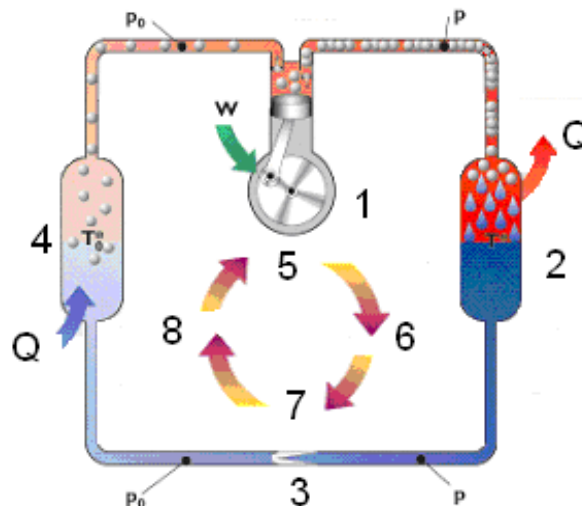
Teplo prirodzene prechádza z telesa o vyššej teplote na teleso o nižšej teplote, na príklad cez steny domu v zime. Tepelné čerpadlá sú schopné realizovať obrátený tok tepla použitím relatívne malého množstva pohonnej energie vo forme mechanickej energie (väčšinou transformovanej z elektrickej) alebo vysokoteplotnej tepelnej energie.

Tepelné čerpadlá môžu získať teplo z rôznych nízko teplotných zdrojov ako je vzduch, voda, zemská kôra (pôda), z priemyselných a domácich odpadných energetických tokov a transformovať ho na vyššiu teplotnú úroveň pre vykurovacie systémy budov alebo priemyselné aplikácie. Pri obrátení obehu je možné tepelné čerpadlá použiť aj pre chladenie (ako napríklad pri klimatizácii).

Väčšina tepelných čerpadiel používaných v domácich aplikáciách sú navrhované s chladiarenskými kompresormi poháňanými elektrickou energiou. Pracovnými látkami sú chladivá, ktoré majú veľmi nízku teplotu bodu varu - väčšinou - 25 až - 40 °C pri atmosférickom tlaku.

Termodynamický obeh tepelného čerpadla je rozdelený do štyroch stupňov:

1. VYPAROVANIE - Chladivo je vyparované pri nízkom tlaku a teplote pomocou tepelnej energie transformovanej z vonkajšieho zdroja tepla.
2. KOMPRESIA - Chladivo je komprimované na vyšší tlak použitím kompresora, výsledkom je súčasne rast jeho teploty
3. KONDENZÁCIA - Vysokotlaká para chladiva je kondenzovaná pri vysokej teplote odvedom tepla
4. EXPANZIA - Kvapalnú chladivo je expandované z vysokého tlaku v kondenzátore na nízky tlak vo výparníku. Výsledkom je prudké zníženie teploty a proces sa môže znovu opakovať.



Obrázok 6.8 Princíp činnosti obehu tepelného čerpadla (1 Vyparovanie, 2 Kompresia, 3 Kondenzácia, 4 Expanzia)

6.3 Chladiaci proces - úplný obeh

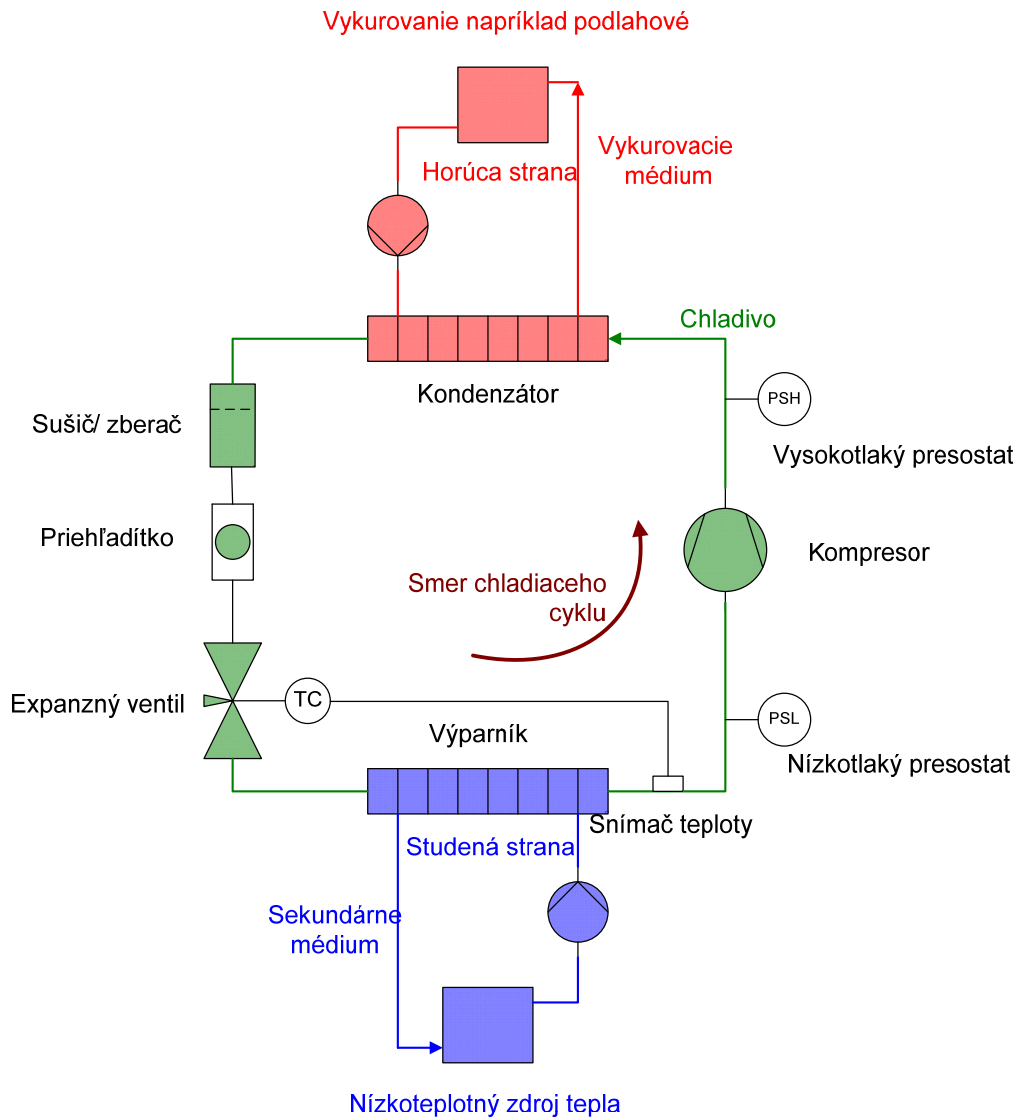
Kompresorový chladiaci obeh je udržiavaný piatimi hlavnými komponentami:

1. Kompresor
2. Kondenzátor
3. Expanzný ventil
4. Výparník
5. Chladivo

Obrázok 6.9 ukazuje hlavné komponenty a činnosť systému tepelného čerpadla

1. **Chladivo:** Chladivo prúdi v chladiacom okruhu a je nútené sa vyparovať pri nízkom tlaku a teplote a kondenzovať pri vysokom tlaku a teplote. Typickým chladivom pre tepelné čerpadlá je R 407C, ktoré má bod varu pri atmosférickom tlaku - 43,9 °C.
2. **Výparník:** Výparník je výmenník tepla, v ktorom chladivo absorbuje teplo z vonkajšieho nízko-teplotného zdroja (ako je vzduch, pôda voda a iné), alebo z teplotného média ako je napríklad solanka a vriete pri nízkom tlaku. Teplota a tlak vo výparníku zostávajú pri procese vyparovania konštantné. V prípade nepriameho vyparovania ako je znázornené na obrázku 9, solanka (väčšinou zmes vody a nemrznúcich látok) cirkuluje cez zdroj tepla a transformuje teplo do výparníka. Pre tepelné čerpadlá so zemskou kôrou ako zdrojom tepla sú rúrky pokladané buď horizontálne do zeme, alebo vertikálne do vrtov. Ak je zdrojom tepla vzduch, alebo voda (spodná, povrchová), tieto médiá pretekajú priamo cez výparník
3. **Kompresor:** Vyparované chladivo je nasávané z výparníka do kompresora a potom stláčané na vyšší tlak a teplotu. Vo väčšine prípadov je kompresor poháňaný elektromotorom. Väčšina tepelných čerpadiel pre domáce aplikácie používajú tzv. hermetické kompresory, kde pohonný elektromotor a kompresor je umiestnený spolu v hermeticky uzavretom (zavarenom) plášti (skrini, obale).

4. **Kondenzátor:** Horúci skomprimovaný plyn chladiva vchádza do kondenzátora - tepelného výmenníka, z ktorého je teplo transformované do teplotnosného média (*obvyčajne vzduch alebo voda*). Teplota a tlak chladiva počas kondenzácie zostávajú konštantné.
5. **Expanzný ventil:** Expanzný ventil pracuje ako škrtiaci ventil transformujúci tok chladiva do výparníkov znížením tlaku z kondenzačného na tlak vo výparníku. Časť kvapalného chladiva sa pri tomto procese vyparí a chladivo sa výrazne ochladí (*plyn aj kvapalina*).



Obrázok 6.9 Funkcia tepelného čerpadla solanka - voda

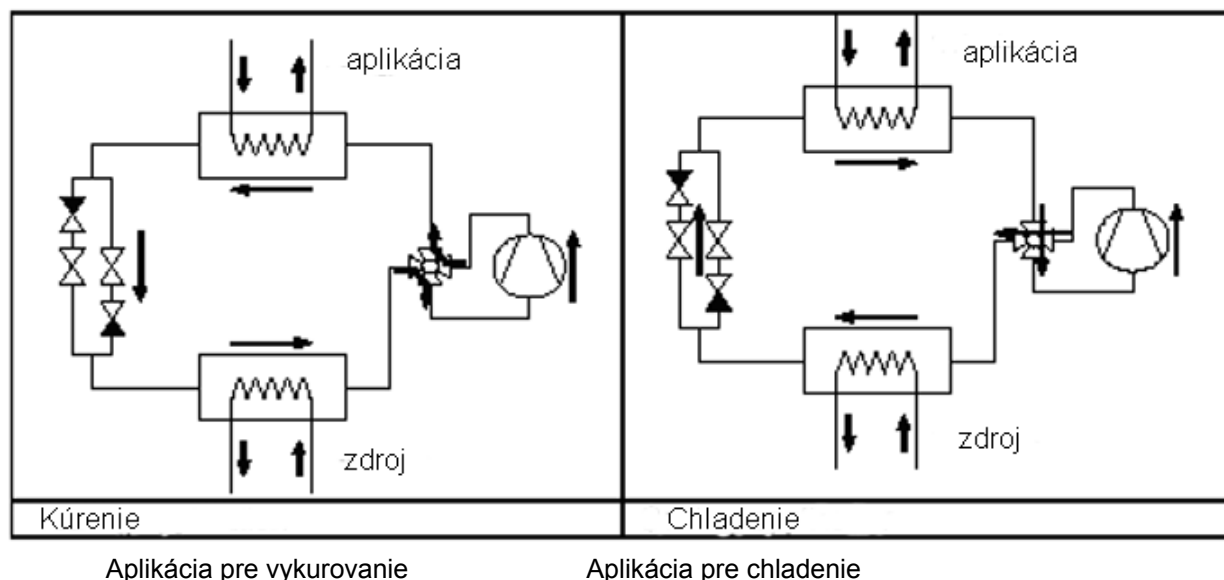
Ďalšie zariadenia (prístroje) na obrázku 9:

- ♦ **Nízko tlaký vypínač (alebo presostat)** zaručuje, že tlak v nízko tlakej časti obehu neklesne pod určitú úroveň. To sa môže prihodiť, keď dojde k úniku chladiva, alebo zdroj tepla je nedostatočne dimenzovaný, takže nie je dosť tepla k vypareniu chladiva. Obdobne, vysokotlaký vypínač zabraňuje prekročeniu tlaku na vysokotlakej strane obehu. Nadmerný tlak môže viesť k otvoreniu bezpečnostného tlakového zariadenia, alebo k poškodeniu tlakovej nádoby (*explózií*).
- ♦ **Sušiča/zberača** jeho funkciou je odstraňovanie vlhkosti z okruhu chladiva. Vlhkosť a vedľajšie produkty z chladiva môžu okrem iného poškodiť komponenty obehu a vytvárať ľad a blokovat' expanzný ventil. Ďalšou funkciou zberača je akumulovať prebytok chladiva počas určitých podmienok.
- ♦ **Priehľadítko (priezorník)** je používané pre zisťovanie, či chladivo tečúce k expanznému ventilu je celkom skondenzované (*či nemá bublinky*).

Tepelné čerpadlá s reverzibilným obehom - pre ohrievacie aj chladiace aplikácie:

Výhodou tepelných čerpadiel je, že môžu byť jednoducho použité taktiež pre chladiace aplikácie. Reverzibilné tepelné čerpadlá môžu byť navrhované pre dodávanie špecifických zaťažení v selektovaných spôsoboch prevádzky (*vykurovanie, chladenie*).

Zmeny spôsobov prevádzky reverzibilných tepelných čerpadiel môžu byť zabezpečené použitím štvorcestných ventilov ktoré menia smer toku chladiva. ako je ukázané na obrázku 1.10.



Obrázok 6.10 Reverzibilné tepelné čerpadlo so štvorcestným reverzibilným ventilom.

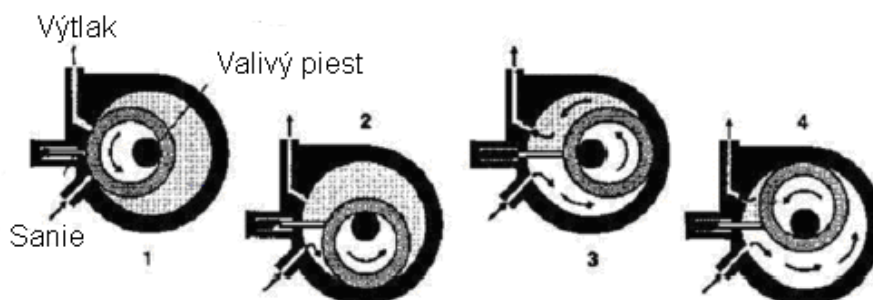
6.4 Komponenty okruhu tepelného čerpadla

6.4.1 Kompresor

Kompresor nasáva plyn z výparníka udržiavaný pri žiadanom tlaku a správnej teplote – výparnej teplote. Vyparovanie chladiva vo výparníku je rovnováha medzi teplom použitým pre vyparenie kvapaliny a sacou kapacitou kompresora. Plyn chladiva odchádza z kompresora pri vysokom tlaku a teplote. Spätné ventily zabraňujú toku chladiva nazad do kompresora.

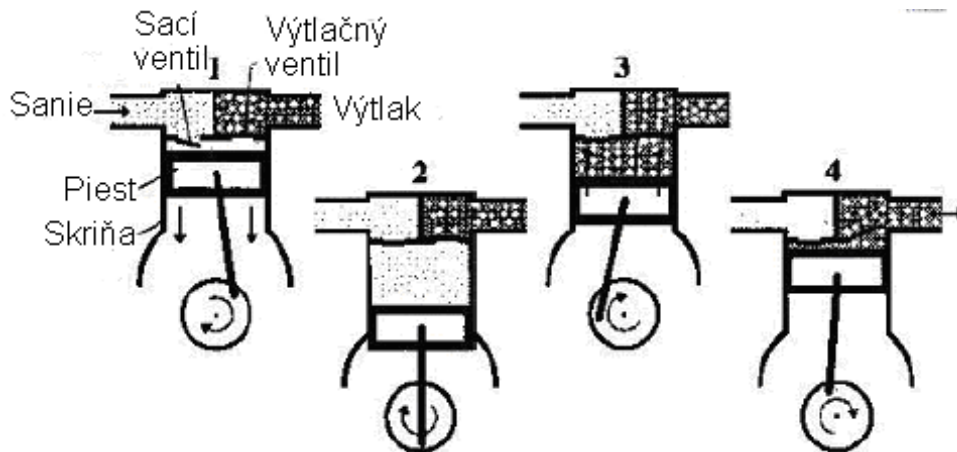
Pre tepelné čerpadlá pre rodinné domy a priemyselné budovy sú používané tri druhy kompresorov.: piestové, valivým piestom a scroll (*rotačné*). Vo väčšine prípadov ide o hermetické kompresory, čo znamená že pohonný elektrický motor a kompresor sú uložené v jednej skrini (*tlakovej nádobe*) a táto je zavarená. Týmto spôsobom je zabránené únikom chladiva do atmosféry cez spojovacie tesnenia. Cez skrini prechádzajú len dva alebo tri elektrické vedenia.

Kompresory s valivým piestom sú často používané v tepelných čerpadlách vzduch – vzduch. Excentrický piest s radiálne pohybujúcou sa lamelou v skrini kompresora stláča plyn ako je ukázané na obrázku 11. Tieto kompresory majú vo všeobecnosti vyššiu účinnosť ako piestové rovnakej kapacity.



Obrázok 6.11 Rotačný kompresor s valivým piestom – pracovný princíp

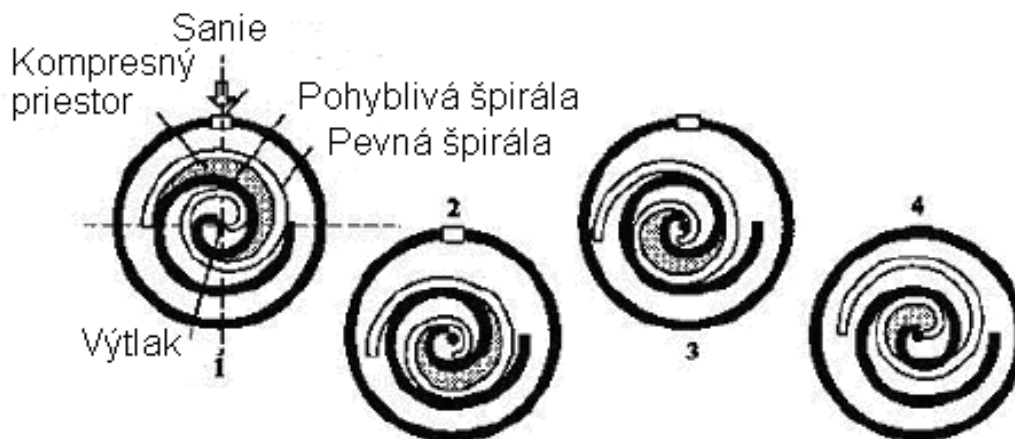
Piestové kompresory sú najstaršie typy kompresorov. Recipročný piest nasáva plyn cez sací ventil, stláča vo valci a vytlačí cez výtláčny ventil. Sací aj výtláčny ventil sú zavreté počas kompresie a výtláčny ventil sa otvorí keď tlak vo valci dosiahne potrebný výtláčny tlak (ako je znázornené na obrázku 12). Vývoj piestových kompresorov kontinuálne pokračuje a je predpoklad ich ďalšieho používania v tepelných čerpadlách. V piestových kompresoroch je vinutie elektromotora zvyčajne chladené nasávaným plynom chladiva.



Obrázok 6.12 Piestový kompresor- pracovný princíp

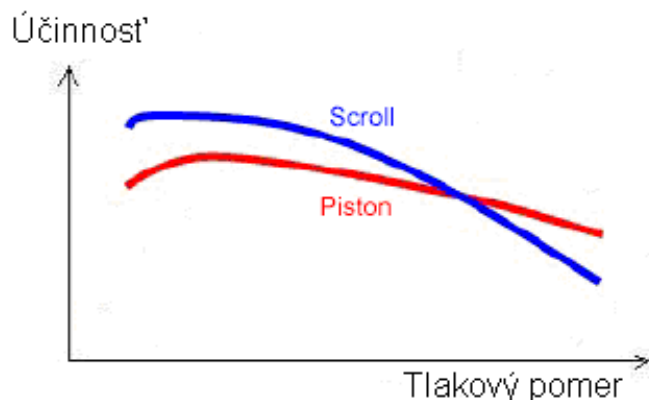
Scroll kompresory sú pre tepelné čerpadlá najviac používané, pretože majú niekoľko významných výhod voči iným typom kompresorov. To sa týka najmä menšieho množstva pohyblivých častí z čoho vyplýva dlhšia životnosť ako aj menšej hlučnosti bez vibrácií. Ďalšou výhodou je malý nepriaznivý vplyv pri nasatí kvapiek z výparníka do kompresora.

Na rozdiel od recipročných piestových kompresorov (ako aj rotačných piestových kompresorov) je dôležité získať správny zmysel otáčania čo na príklad súvisí pri použití trojfázového prúdu so správnym vinutím fáz. Pri Scroll kompresoroch je vinutie pohonného elektromotora chladené studeným nasávaným chladivom. Princíp pracovnej činnosti je znázornený na obrázku 13.



Obrázok 6.13 Scroll kompresor – pracovný princíp
(nasávanie, výtlak, kompresný objem, pohyblivá špirála, pevná špirála)

Tlakový pomer je definovaný ako tlak na vysokotlakej strane predelený tlakom na nízkotlakej strane. Najlepšiu účinnosť má tento kompresor obyčajne pri nízkych tlakových pomeroch .



Obrázok 6.14 Porovnanie účinnosti piestových a scroll kompresorov pri rôznych tlakových pomeroch

6.4.2 Expanzný ventil

Expanzné ventily pracujú ako rôzne škrtiace klapky, udržiavajú tlakový rozdiel medzi vysoko a nízkotlakou stranou chladiaceho obehu a regulujú tok chladiva z kondenzátora do výparníka.

Pri prechode chladiva expanzným ventilom sa pri poklese tlaku časť chladiva okamžite vyparí. Chladivo sa na základe odobratého výparného tepla ochladí a vstupuje ako zmes pary a kvapaliny do výparníka pri výparnej teplote.

Najjednoduchším expanzným zariadením je škrtenie pomocou kapilárnej trubice medzi kondenzátorom a výparníkom. V tepelných čerpadlách, ktoré pracujú pri rôznych teplotných podmienkach na vysokotlakej teplej aj nízkotlakej studenej strane sa ako expanzné zariadenie všeobecne **používa termostatický expanzný ventil**. Tieto ventily majú dobré regulačné vlastnosti a relatívne široké pracovné rozmedzie.

Pri termostatickom expanznom ventilu je snímač s prchavou látkou pripevnený priamo na rúrku vychádzajúcu z výparníka a premieňa zmeny teploty na zmeny tlaku. Tlak v snímači pôsobí na mechanizmus ventilu tak, že otvára ventil keď teplota a teda aj tlak v snímači stúpa.

Keď sa tok chladiva cez výparník zvýši, teplota v snímači opäť poklesne (*zníži sa teplota vystupujúceho chladiva z výparníku*). Použitím nastavovacej skrutky pružiny v expanznom ventilu môžeme udržiavať prehriatie na požadovanej úrovni. Termostatické expanzné ventily zabezpečujú udržiavanie prehriatia na úrovni približne 4 až 8 °C.



Obrázok 6.15 Termostatický expanzný ventil

6.4.3 Výparník

Funkciou výparníka je získať teplo z nízkotepelného tepelného zdroja a transformovať do chladiva za účelom jeho vyparenia. Výparná teplota musí byť samozrejme nižšia ako teplota zdroja tepla.

Tepelné čerpadlá vzduch - voda a vzduch - vzduch absorbujú teplo do výparníka priamo zo vzduchu. Výparník je potom tvorený ako „*rebrovaný had (cievka)*“. Je to batéria medených rúrok s hliníkovými rebrami a ventilátorom, ktorý rozvádza vzduch cez hliníkové rebrá.

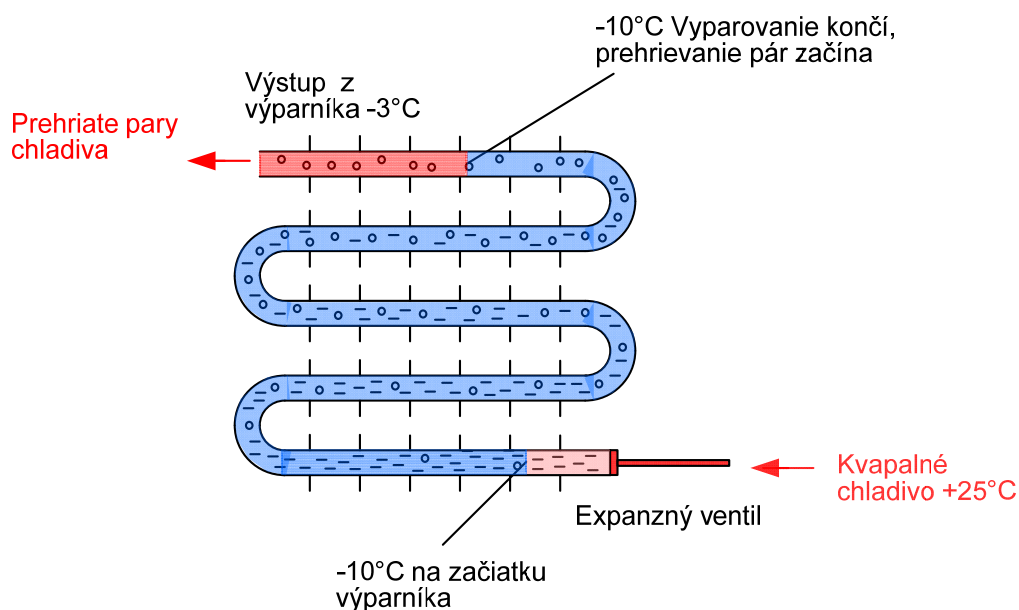
V tepelných čerpadlách voda - voda a solanka-voda sú prakticky všetky výmenníky tepla v súčasnosti konštruované ako doskové výmenníky, ktoré sú ekonomické, kompaktné a šetria priestor. Je ich možno taktiež jednoducho izolovať.



Obrázok 6.16 Rôzne typy kompaktných doskových pájaných výmenníkov tepla

Kvapalnú chladivo vstupujúce do expanzného ventilu je expandované na výparný tlak. Časť kvapalného chladiva ako bolo popísané v časti 6.4.2 je už vyparené pred vstupom do výparníka. Množstvo vypareného chladiva stúpa ak stúpa teplotný alebo tlakový rozdiel medzi kondenzátorom a výparníkom.

Na začiatku výparníka je teda vždy zmes pary a kvapaliny s rôznou parnou frakciou. Je dôležité, aby plyn chladiva bol prehriaty pred tým ako vstupuje do kompresora, aby neobsahoval žiadne kvapky kvapaliny, ktoré môžu poškodiť kompresor. Plynné chladivo môže byť prehrievané nad výparnú teplotu v konečnej časti výparníka ako je znázornené na obrázku 17. Vo väčšine prípadov je ale efekt prehriatia chladiva vstupujúceho do kompresora dosahovaný pomocou vnútorného výmenníka tepla medzi horúcim kvapalným chladivom vystupujúcim z kondenzátora a nasávaným chladivom z výparníka do kompresora. Prehriatie chladiva je možné tiež dosiahnuť ohrievaním sacieho potrubia do kompresora (väčšinou elektrickým ohrevom).



Obrázok 6.17 Princíp výparného procesu vo vzduchom ohrievanom výparníku

(Expanzný ventil, $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ na začiatku výparníka, kvapalné chladivo $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$, prehriata para chladiva. Koniec výparníka $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ vyparovanie končí, prehrievanie začína)

6.4.4 Kondenzátor

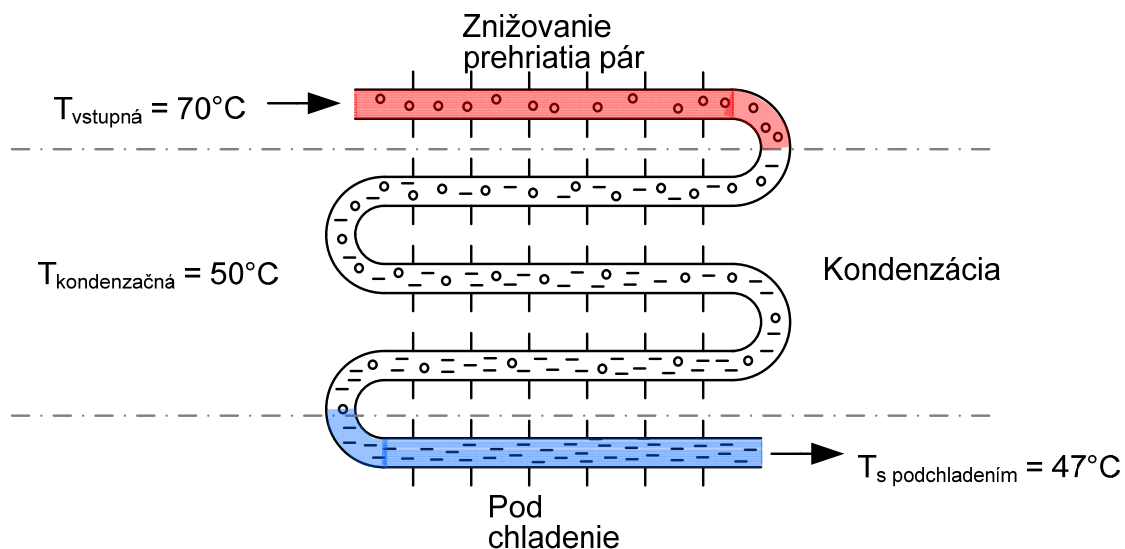
Horúci plyn z kompresora je privádzaný do kondenzátora, ktorého funkciou je odobrať teplo z chladiva do chladiaceho média - väčšinou vody alebo vzduchu. Pre dosiahnutie tohto toku tepla, musí byť kondenzačná teplota vždy vyššia ako teplota chladiaceho média. Množstvo tepla, ktoré je potrebné doviesť z kondenzátora

do chladiaceho média je súčtom tepla dodávaného do výparníka mechanickej (elektrickej) energie dodávanej kompresorom. Vo väčšine tepelných čerpadiel sú ako kondenzátory používané spájkované alebo zvárané doskové výmenníky tepla

V kondenzátore prebiehajú tri rôzne procesy:

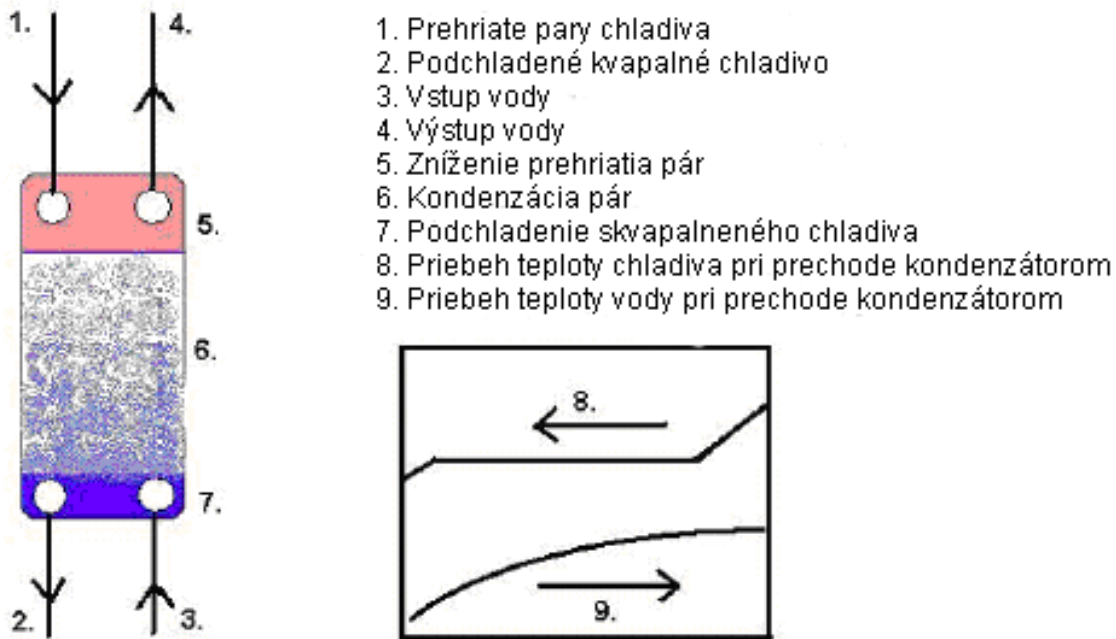
1. **(Pred)chladenie prehriatych pár** - Chladivo vstupujúce do kondenzátora vo forme horúcej pary je ochladené na kondenzačnú teplotu (*teplotu nasýtených pár*). Výmena tepla pri tomto procese nie je príliš veľká pretože ochladené chladivo zostáva v parnom stave.
2. **Kondenzácia** - Kondenzácia začína, keď je chladivo ochladené na kondenzačnú teplotu odpovedajúcu kondenzačnému tlaku. Počas kondenzácie čistých látok a zmesí „azeotropných chladív“ zostávajú tlak aj teplota konštantné. „Zeotropne“ (*neazeotropne*) zmesi chladív tak isto kondenzujú pri konštantnom tlaku, ale znižuje sa ich teplota, pretože rôzne zložky zmesi kondenzujú pri rôznej teplote jedna po druhej. To sa často nazýva tzv. „*teplotným sklzom*“. V oblasti kondenzácie je dosahovaná najväčšia účinnosť prenosu tepla. Azeotropné chladivo je zmes dvoch alebo viacerých chladív, ktoré v azeotropnom bode (*pri určitom tlaku a koncentrácii zložiek*) majú parnú a kvapalnú fázu v termodynamickovej rovnováhe, teda majú vlastnosti čistého chladiva. Zeotropne zmesi chladív sú zmesou zložiek, kde parná a kvapalná fáza nie je v rovnováhe pri žiadnych podmienkach (*teplota, tlak, koncentrácia*).
3. **Podchladenie** - Po skondenzovaní celého množstva chladiva začína proces podchladenia, pri ktorom klesá teplota kvapalného chladiva pod kondenzačnú teplotu (*teplotu nasýtenia*). Tento proces je dôležitý pre zabránenie vzniku parných bublín pred vstupom do expanzného ventilu, čo by mohlo čiastočne zablokovať prietok chladiva. Tento proces môže prebiehať čiastočne už v kondenzátore (*pozri obrázok 18*) ale hlavný rozsah podchladenia chladiva sa dosahuje v ďalšom výmenníku tepla (*dochladzovač*), ktorý býva väčšinou riešený ako tzv. vnútorný výmenník tepla (*podchladenie sa dosahuje pomocou chladných pár nasávaných do kompresora*).

Na obrázku 18 sú znázornené popísané procesy v kondenzátore (*nie sú brané do úvahy tlakové straty trením pri prúdení chladiva*).



Obrázok 6.18 Procesy vo vzduchom chladenom kondenzátore

V niektorých tepelných čerpadlách je umiestnený malý výmenník tepla medzi kompresorom a kondenzátorom nazývaný predchladzovač. Výhodou je umožnenie získania časti tepelnej energie produkovanej tepelným čerpadlom pri vyššej teplote ako je teplota kondenzačná (*napríklad pre prípravu horúcej vody*) a súčasne je umožnené nastaviť kondenzačnú teplotu len tesne nad potrebnú teplotu vody pre veľkoplošné alebo radiátorové vykurovanie. Ak v obehu nie je inštalovaný uvedený predchladzovač plynu chladiva vystupujúceho z kompresora, je potrebné úmerne zvýšiť kondenzačnú teplotu pre dosiahnutie ochladenia pár čo znižuje energetickú efektívnosť (*výkonové číslo*) systému tepelného čerpadla.



1. Prehriate pary chladiva
2. Podchladené kvapalné chladivo
3. Vstup vody
4. Výstup vody
5. Zníženie prehriatia pár
6. Kondenzácia pár
7. Podchladenie skvapalneného chladiva
8. Priebeh teploty chladiva pri prechode kondenzátorom
9. Priebeh teploty vody pri prechode kondenzátorom

Obrázok 6.19 Chladiaci proces v kompaktnom pájkovanom doskovom kondenzátore

1. Prehriata para chladiva
2. Podchladené kvapalné chladivo
3. Vstup vody
4. Výstup vody
5. Predchladená prehriata para
6. Kondenzácia plynu na kvapalinu
7. Podchladenie kvapaliny
8. Diagram zmeny teploty chladiva pozdĺž výmenníka (kondenzátora)
9. Diagram zmeny teploty chladiva pozdĺž výmenníka

6.4.5 Armatúry a príslušenstvo

Okrem vyššie popísaných hlavných komponentov obehu tepelného čerpadla sú ďalšie dôležité komponenty skutočného prevádzkovaného systému okruhu tepelného čerpadla. Tieto zahŕňujú priehľadítko, filter (*sušič*), zberač a rôzne ventily (*presostaty*).

- ♦ **Priehľadítko** má vo všeobecnosti dve funkcie. Prvá je zistiť, či kvapalné chladivo obsahuje plynové bublinky, ak áno to znamená že je prebytok chladiva. Druhou funkciou je indikovať vlhkosť v chladive, ak je v chladive prítomná vlhkosť indikátor vlhkosti sa zafarbuje.
- ♦ **Filter (sušič)** chladiva sa skladá zo sitka pre zachytávanie cudzích častíc v chladive a z gélu ktorý absorbuje vlhkosť. Filter je umiestnený medzi kondenzátor a expanzný ventil
- ♦ **Zberač** uskladňuje chladivo ktoré nie je prechodne používané v obehu. Pre chladiaci proces je v závislosti na prevádzkových podmienkach požadované rôzne množstvo chladiva.
- ♦ **Presostaty:** tepelné čerpadlá sú obyčajne vybavené vysokotlakým a nízkotlakým vypínačom (*ventilom*) resp. „*presostatom*“. Sú to bezpečnostné zariadenia. Ak tlak pred kompresorom je príliš nízky alebo tlak za kompresorom príliš stúpne presostat zastaví chod tepelného čerpadla (vypne pohon kompresora). Najčastejším dôvodom vypnutia zariadenia presostatom sú porušenia toku chladiva alebo solanky na chladnej alebo teplej strane alebo nedostatok chladiva.

Niektoré tepelné čerpadlá sú tiež vybavené vysokotlakým **kontrolným (regulačným) presostatom**. Tento presostat sa automaticky prestaví keď poklesne tlak. To je použité na zastavenie tepelného čerpadla pred tým, ako to urobí vysokotlaký presostat a umožní sa vyhnúť nepotrebnéj údržbe počas prechodných podmienok preťaženia.

Umiestnenie týchto rôznych komponentov je znázornené na obrázku 1.9. **Štvorcový ventil**, v mieste kde je umiestnený, (*pozri detailne na obrázku 6.10*) je použitý na reverzáciu chodu tepelného čerpadla.

6.4.6 Mazací olej

Hlavnou funkciou oleja je mazanie kompresora. Olej je nevyhnutne nutný len v kompresore, ale časť oleja (*typicky 1 až 4 % z váhy chladiva*) prechádza výtlakom kompresora cez všetky komponenty obehu. Až do určitého množstva (*približne 1 až 1.5 % váhy chladiva*) má prítomnosť oleja v chladive nasledovné výhody:

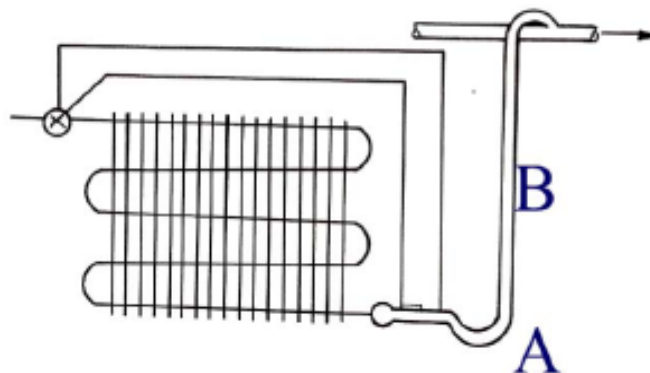
- ♦ pomáha znižovať úniky chladiva cez tesnenia v otvorených (*nehermetických*) typoch kompresorov
- ♦ olej umožňuje jednoduchšie najst' miesta únikov chladiva v obehu pretože je ho ľahko možno nájsť na vonkajšej strane jednotlivých prepojení.

Spätný návrat oleja

Spätný návrat oleja späť do kompresora je dôležitý faktor bezpečného chodu tepelného čerpadla. Pre zaistenie návratu oleja z výparníka, najmä keď tok stúpa hore, rýchlosť a hustota chladiva by nemala byť príliš nízka.

V malých blokových jednotkách sa zriedkakedy vyskytujú ťažkosti so spätným návratom oleja do kompresora. Avšak zmena chladiva na chladivo s menšou hustotou v parnej fáze môže priniesť problémy. Zmena chladiva môže viesť aj k ďalším problémom ako je rozpustnosť oleja v chladive a iné, ktoré sú ešte dôležitejšie ako spätný návrat oleja.

Obrázok 20 znázorňuje ako výstupná rúrka z výparníka môže byť usporiadaná pre maximalizovanie návratu oleja do kompresora



Obrázok 6.20 Výstup z výparníka pre maximalizovanie návratu oleja

„A“ je zásobník pre zber oleja pod úroveň výparníka

„B“ je tenká vertikálna rúrka zaisťujúca vysokú rýchlosť stúpania oleja

Dve veci je potrebné brať do úvahy:

- keď je rúrka chladná, je viskozita oleja vysoká a na stenách nasávacieho potrubia sa vyskytuje relatívne hrubý film oleja - návratu oleja je bránené
- rýchlosť stúpania oleja musí byť dostatočne vysoká aj keď kompresor pracuje len pri čiastočnom zaťažení

6.4.7 Chladivo

Chladivo cirkuluje cez systém a absorbuje tepelnú energiu vo výparníku pri nízkej teplote a odovzdáva tepelnú energiu v kondenzátore pri vysokej teplote. To je realizované pomocou premeny chladiva z kvapaliny na plyn vo výparníku a plynu na kvapalinu v kondenzátore

6.4.7.1 Druhy chladív

Chladivá sú rozdelené do rôznych skupín podľa chemického zloženia ich molekúl:

CFC Chloro-Fluoro-Carbons – plne halogenované molekuly uhľovodíkov (*bez vodíku*), napríklad R12 (*tiesto chlórované uhľovodíky je už zakázané používať*)

HCFC Hydro-Chloro-Fluoro-Carbons – čiastočne hlogenované uhľovodíky: v molekule zostal minimálne jeden atóm vodíku, napríklad R22

HFC Hydro-Fluoro-Carbons –fluorované uhľovodíky: atómy vodíka nahradené iba fluórom (*molekula neobsahuje atómy chlóru*)

HC Hydro-Carbons – uhľovodíky (*bez atómov chlóru alebo fluóru*) ako propan R290 a izobutan R600A

6.4.7.2 Požiadavky

Je veľa požadovaných vlastností chladív, mali by byť:

- ◆ ekologicky priaznivé (*nie nebezpečné pre okolité prostredie*),
- ◆ energeticky efektívne, teda schopné preniesť veľké množstvo tepla na kg hmotnosti,
- ◆ prednostne nehorľavé,
- ◆ prednostne netoxické,
- ◆ jednoducho dopravované (*manipulované*),
- ◆ kompatibilné s olejmi a elastomerami (*tesnenia a o-krúžky*),
- ◆ chemicky stabilné.

Mali by taktiež:

- ◆ mať rozsah uplatnenia v širokom rozmedzí tlakov a teplôt
- ◆ umožniť zvýšenie teploty horúceho plynu za kompresorom

Žiadna jednoduchá látka nemôže splniť všetky tieto požiadavky.

6.4.7.3 Výmena chladív v starých zariadeniach

V ideálnom prípade by chladiaci systém mal byť po oprave naplnený originálnym chladivom. Výroba niektorých chladív vzhľadom na ich nepriaznivý ekologický dopad ale bola už zastavená (*ako napríklad R12*), z čoho vyplýva nutnosť použiť pri opravách starých zariadení alternatívne chladivá. Pred tým ale je potrebné zhodnotiť stav zariadenia a jeho zvyškovú životnosť, pretože vo veľa prípadoch je ekonomicky efektívnejšie kúpiť nové zariadenie ako použiť staré s alternatívnym chladivom.

Pred výmenou chladiva je potrebné zistiť či nové chladivo nebude nepriaznivo pôsobiť na materiály a komponenty obehu tepelného čerpadla. Veľmi dôležitá otázka je taktiež či je potrebné vymeniť aj mazací olej. Ak áno, cena náhrady bude podstatne vyššia (*starý olej musí byť odstránený zo všetkých častí systému*).

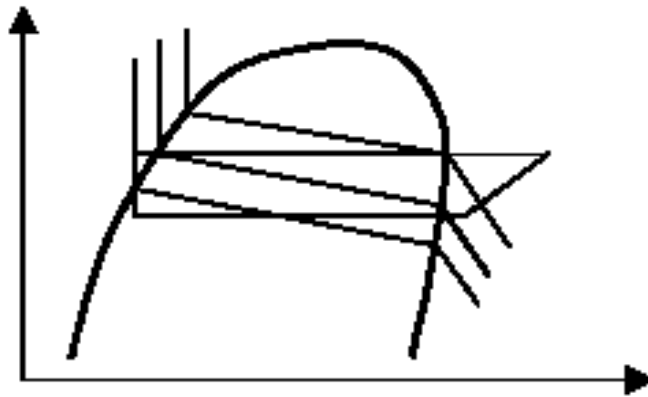
Staré chladivo	Náhrada chladivom
⇒ R12	R134A
⇒ R 502	R 404A
⇒ R22	R 407C

Okrem uvedených náhrad sú na trhu aj ďalšie chladiva, ktoré je možné použiť ako náhrady metódou „drop-in“ (*priama náhrada starého chladiva bez výmeny oleja a prípadne ďalších komponentov*). Vo všeobecnosti tieto náhrady prinášajú zmenu tepelného výkonu tepelných čerpadiel a preto je to potrebné vyjasniť s prevádzkovateľom pred uskutočnením výmeny.

6.4.7.4 Chladivá s „teplotným sklzom“

Ako už bolo uvedené v časti 1.4.4 „zeotropne“ (*neazeotropne*) zmesi chladív majú na rozdiel od „azeotropných“ chladív (*ktoré sa chovajú pri určitých podmienkach ako čisté chladivá s konštantnou teplotou a tlakom počas vyparovania*) tzv. „teplotný sklz“, čo znamená že rôzne zložky zmesi kondenzujú pri rôznej teplote, teda jedna po druhej - zložka s najnižšou výparnou teplotou a najvyšším výparným tlakom vrie pri vyparovaní chladiva prvá (*napríklad chladiva s veľkým teplotným sklzom je možné uviesť R 407 C*). Doplnovanie chladiva musí byť potom vykonané v kvapalnej fáze aby boli zabezpečené potrebné koncentrácie jednotlivých zložiek.

V log-p-h diagrame potom izotermy zeotropického chladiva nie sú v oblasti mokrej pary (*medzi medznými krivkami*) totožné s izobarami (*nie sú kolmé na os tlaku*) ako je to u čistých chladív alebo azeotropických roztokov, ale prebiehajú ako priamky so znižujúcou sa hodnotou tlaku ako je to znázornené na obrázku 21. Problém teplotného sklzu ukladá na návrhárov, výrobcov a servisné organizácie vysoké požiadavky pre dosiahnutie optimálnych prevádzkových podmienok tepelných čerpadiel.



Obrázok 6.21 Teplotný sklz v log p - h diagrame

6.4.7.5 Bezpečnostné požiadavky (aspekty)

Je veľa rôznych spôsobov ako môže dojsť k poškodeniam pri prevádzke tepelných čerpadiel. Nehody (*havárie*) je možné predvídať vo vzťahu k chladivám obsahujúcim explozívne a mrznúce látky. Chladiace zariadenia a tepelné čerpadlá taktiež pracujú pri vysokom tlaku, takže je možnosť poškodenia, prípadne explózie tlakových nádob. Návrh a testovanie chladiacich systémov v Európe je regulované nariadením o tlakových systémoch.

Avšak väčšina nehôd sa netýka špeciálne technológie tepelných čerpadiel. Toto zahŕňa:

- poškodenie chrbta v dôsledku prenášania ťažkých strojných častí nesprávnym spôsobom,
- pokĺznutie zo schodov,
- pád tepelného čerpadla na prsty nohy,
- poškodenia v dôsledku neopatrného používania ručných nástrojov,
- poškodenia v dôsledku chýbajúcej izolácie,
- elektrický šok pri práci na „živom“ systéme.

6.5 Charakteristiky obehu tepelného čerpadla

6.5.1 Výkonové číslo COP

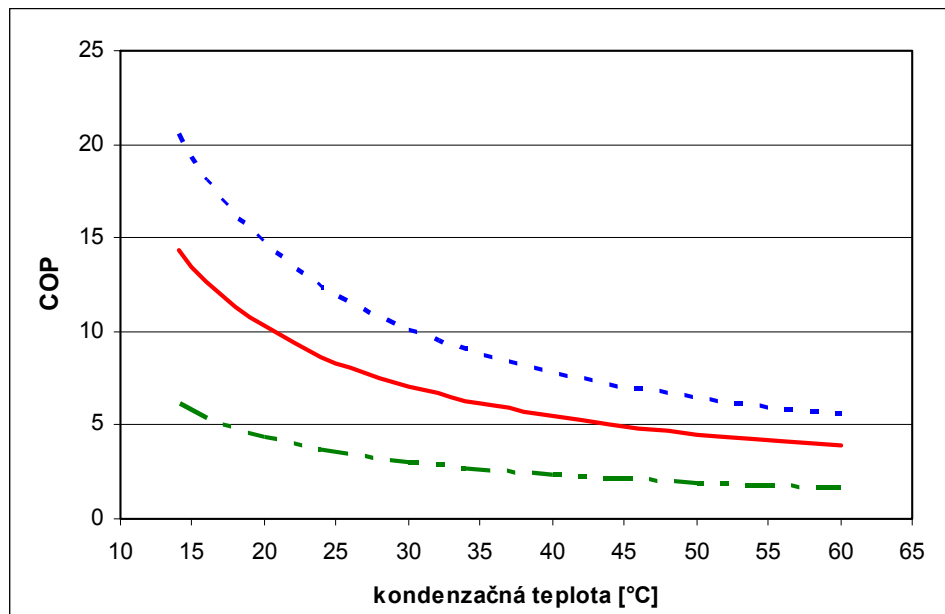
Teplo dodávané kondenzátorom tepelného čerpadla je teoreticky súčtom tepla získaného vo výparníku z vonkajšieho zdroja tepla a energie potrebnej pre pohon kompresora. Výkonnosť kompresorového tepelného čerpadla v ustálenom stave pri daných teplotných podmienkach je vyjadrená pomocou výkonového čísla COP. To je definované ako pomer tepelného výkonu tepelného čerpadla a príkonu požadovaného pre pohon kompresora.

$$\text{COP} = \frac{\text{tepelný výkon}}{\text{príkon kompresora}} = \frac{Q_c}{P}$$

6.5.2 Carnotova porovnávacia účinnosť (η_c)

Obrázok 22 ukazuje COP pre ideálne tepelné čerpadlo ako funkciu teplotného rozdielu medzi kondenzačnou teplotou a teplotou zdroja tepla na úrovni 0 °C. Je taktiež znázornený priebeh skutočnej hodnoty COP na uvedenom teplotnom rozdielu pre rôzne typy tepelných čerpadiel.

Pomer skutočnej hodnoty COP tepelného čerpadla a ideálnej hodnoty COP (*podľa ideálneho Carnotovho obehu*) je tzv. Carnotova porovnávacia účinnosť η_c , ktorá sa pohybuje pre reálne systémy tepelných čerpadiel v rozmedzí od 0,3 do 0,7 ako je znázornené na obrázku 22.



Obrázok 6. 22 COP ako funkcia teplotného rozdielu

- ⇒ $\eta_c = 1$ ideálne tepelné čerpadlo (na báze Carnotovho obehu)
- ⇒ $\eta_c = 0,3$ konvenčná klimatizačná jednotka
- ⇒ $\eta_c = 0,7$ vysoko efektívne kompresorové tepelné čerpadlo s pohonom elektrickou. energiou

6.5.3 Sezónny výkonový faktor SPF

Pracovná výkonnosť tepelného čerpadla počas celej doby prevádzky v roku je nazývaná ako sezónne výkonový faktor (SPF). Je definovaný ako pomer množstva dodaného tepla tepelným čerpadlom počas celej doby prevádzky v kalendárnom roku a celkového množstva spotrebovanej pohonnej energie kompresora a ďalších pomocných (prídavných) zariadení obehu (čerpadiel solanky, ventilátorov a odmrazovačov výparníkov a ďalších zariadení ktoré spotrebovávajú pohonnú primárnu energiu).

$$\text{SPF} = \frac{\text{suma dodaného tepla}}{\text{suma spotrebovanej energie (práce)}} = \frac{\sum Q_c}{\sum W}$$

Výkonnosť tepelných čerpadiel je ovplyvňovaná veľkým množstvom faktorov. Pre tepelné čerpadlá pre vykurovanie a prípravu teplej užitkovej vody v budovách zahŕňa:

- klimatické podmienky - ročná potreba tepla a chladu a maximá záťaží
- teploty zdrojov tepla a systém dodávky tepla
- spotreba energie pomocných (prídavných) zariadení (čerpadlá, ventilátory, regulátory a pod.)
- kvalita návrhu a výroby tepelného čerpadla
- dimenzovanie tepelného čerpadla vo vzťahu k potrebe tepla a prevádzkovým charakteristikám
- regulačný systém tepelného čerpadla a budovy

6.5.4 Dôležité prevádzkové parametre

Pri testovaní vlastností tepelného čerpadla musia byť merané minimálne nasledovné parametre:

- výparný tlak
- kondenzačný tlak
- prehriatie na vstupe do kompresora
- teplota vystupujúceho plynu z kompresora
- podchladenie za kondenzátorom
- vstupné a výstupné teploty chladiacej látky kondenzátor
- vstupné a výstupné teploty solanky (vzduchu, vody) na výparníku

6.5.4.1 Prehriatie

Prehriatie je rozdiel teplôt medzi saním (*vstupom*) do kompresora a výparnou teplotou (*teplotný rozdiel medzi bodmi 1 a 1'' na obrázku 23 a 24*). Výparná teplota môže byť často odčítaná na teplotnej stupnica manometra, prípadne z tabuliek teplôt nasýtenia jednotlivých chladív.

Prehriatie určuje o koľko stupňov je teplejší nasávaný plyn v porovnaní s výparnou teplotou. Zvyčajné hodnoty ležia v rozmedzí 4 až 8 °C. Nedostatočné prehriatie môže viesť k vstupu kvapaliny do kompresora čo má za následok zníženie COP alebo aj poškodenie kompresora.. Príliš veľké prehriatie ukazuje na neefektívne využitie výparníka, čo taktiež spôsobuje zníženie COP.

6.5.4.2 Podchladenie

Podchladenie určuje o koľko bolo skondenované chladivo ochladené pod kondenzačnú teplotu. Normálne hodnoty sú v rozmedzí 2 až 5 °C. Príliš malé podchladenie ukazuje na nedostatok chladiva, čo vedie k znižovaniu efektívnosti obehu (*COP*). Príliš veľké podchladenie ukazuje, že tepelné čerpadlo je preplnené chladivom a potom pracuje taktiež s menším výkonovým číslom COP, pretože plocha kondenzátora nemôže byť využitá v plnom rozsahu (veľkosti). Súčasne vzniká riziko vypnutia prevádzky vysokotlakým presostatom alebo sa vysokotlaký poistný ventil otvorí keď vysoko stúpne kondenzačná teplota.

Približné zhodnotenie podchladenia môžeme dosiahnuť porovnaním kondenzačnej teploty (*odčítanej priamo z manometru alebo tabuliek chladív*) s teplotou meranou na povrchu rúrky odvodu chladiva z kondenzátora.

6.5.4.3 Výstupná teplota z kompresora

Povrchová teplota na výstupnej rúrke horúceho plynu z kompresora približne určuje jeho teplotu. Zvyčajne by mala byť pod 120 °C aby bolo zabránené poškodeniu (*znehodnoteniu*) oleja v chladive, prípadne znehodnoteniu samotného chladiva. Príliš vysokú výstupnú teplotu z kompresora môže zapríčiniť príliš nízka výparná teplota, nedostatok chladiva alebo opotrebovaný kompresor.

Treba zobrať do úvahy, že teploty merané na povrchu vedení (*rúrok*) sú vždy nižšie ako skutočné teploty horúceho plynu. Veľkosť chýb závisí na tom ako starostlivo je vykonané meranie.

6.5.4.4 Princípy činnosti v diagrame log p - h

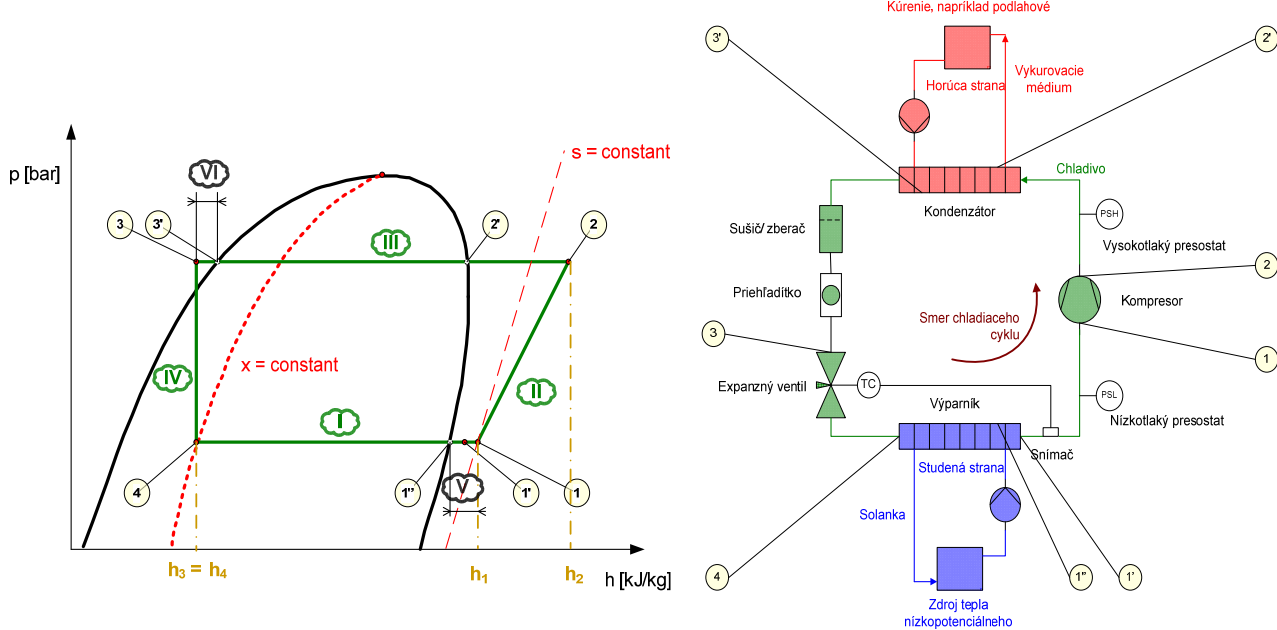
Význam merania prehriatia, podchladenia a výstupnej teploty plynu z kompresora je možno zhodnotiť použitím diagramu log p - h.

Základom práce s diagramom log p - h je označenie rôznych stupňov procesov v obehu tepelného čerpadla ako je ukázané na obrázku 23. Obrázok 24 ukazuje odpovedajúce body v okruhu jednotlivých komponentov tepelného čerpadla.

Je potrebné vždy použiť diagram konkrétneho chladiva použitého v obehu tepelného čerpadla (*označené zvyčajne v ľavom hornom rohu*).

- ⇒ 1 - 2 : Polytropická (*nie izoentropická*) kompresia (*priebeh napravo od izoentropickej kompresnej krivky, je tým určená izoentropická účinnosť kompresie*)
- ⇒ 2 - 2' : Ochladenie chladiva (*horúceho plynu z kompresora*) pri konštantnom tlaku na kondenzačnú teplotu
- ⇒ 2' - 3' : Odoberanie tepla chladivu v kondenzátore pri konštantnom tlaku vedúce ku kondenzácii
- ⇒ 3' - 3 : Podchladenie chladiva pri konštantnom tlaku
- ⇒ 3 - 4 : Expanzia pri konštantnej entalpii
- ⇒ 1'' : Vyparovanie pri konštantnom tlaku
- ⇒ 1''-1' : Prehriatie pri konštantnom tlaku vo výparníku
- ⇒ 1' - 1 : Prehriatie pri konštantnom tlaku v nasávacom potrubí

Princíp činnosti tepelného čerpadla v diagrame log p – h



Obrázok 6.23 Procesy obehu tepelného čerpadla v diagrame log p - h

Obrázok 6.24 Okruh tepelného čerpadla

- I Vyparovanie
- II Kompresia
- III Kondenzácia
- IV Expanzia
- V Prehriatie
- VI Podchladienie
- 1 Vstup do kompresora
- 1' Výstup z výparníka
- 1'' 100 % chladiwa je vyparené -začiatok prehrievania
- 2 Výstup z kompresora
- 2' Chladiwo dosiahlo teplotu kondenzácie - začiatok kondenzácie
- 3 Vstup do expanzného ventilu
- 3' 100% chladiwa je skondenzované - začiatok podchladienia
- 4 Vstup do výparníka

V log p - h diagrame sa špecifické množstvá premieňaných energetických tokov určujú ako rozdiely entalpií medzi jednotlivými bodmi na krivkách odpovedajúcich procesov a môžu byť teda z tohto diagramu jednoducho odčítané.

Určenie odpovedajúcich zmien špecifickej entalpie

Nasledovné rozdiely špecifických entalpií sú dôležité pre zhodnotenie procesov v tepelnom čerpadle:

- ⇒ $h_2 - h_1$: špecifická energia potrebná pre pohon kompresora
- ⇒ $h_2 - h_3$: špecifické kondenzačné teplo
- ⇒ $h_1' - h_4$: špecifické výparné teplo

Výpočet tepelnej a chladiacej kapacity a príkonu kompresora

Pomocou prietoku chladiwa \dot{m} (kg/s) a vyššie uvedených rozdielov entalpií je možné vypočítať nasledovné výkonnostné parametre tepelného čerpadla:

Teoretická chladiaca kapacita: $Q_0 = \dot{m} \cdot (h_1' - h_4)$ v (kW)

Teoretická tepelná kapacita: $Q_C = \dot{m} \cdot (h_2 - h_3)$ v (kW)

Teoretický príkon kompresora: $P = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1)$ v (kW)

Určenie COP obehu tepelného čerpadla

Pomocou vyššie uvedeného výpočtu tepelnej kapacity a príkonu kompresora môže byť teoretické výkonové číslo COP vypočítané podľa vzťahu:

$$\text{COP} = \frac{\text{tepelná kapacita}}{\text{príkon kompresora}} = \frac{Q_c}{P} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$

Ako je vidieť z uvedeného vzťahu pre výpočet COP nie je potrebná znalosť prietoku chladiva obehom tepelného čerpadla.

Určenie tepelnej kapacity tepelného čerpadla

Tepelná kapacita môže byť približne určená (pri zanedbaní tepelných strát kompresora) aj bez znalosti hodnoty prietoku chladiva pomocou určenia príkonu kompresora (pri pohone elektromotorom meraním prúdu a napätia) a jeho násobením hodnotou COP:

$$\text{Tepelná kapacita } Q_c = \text{príkon kompresora } P \cdot \text{COP}$$

Príklad

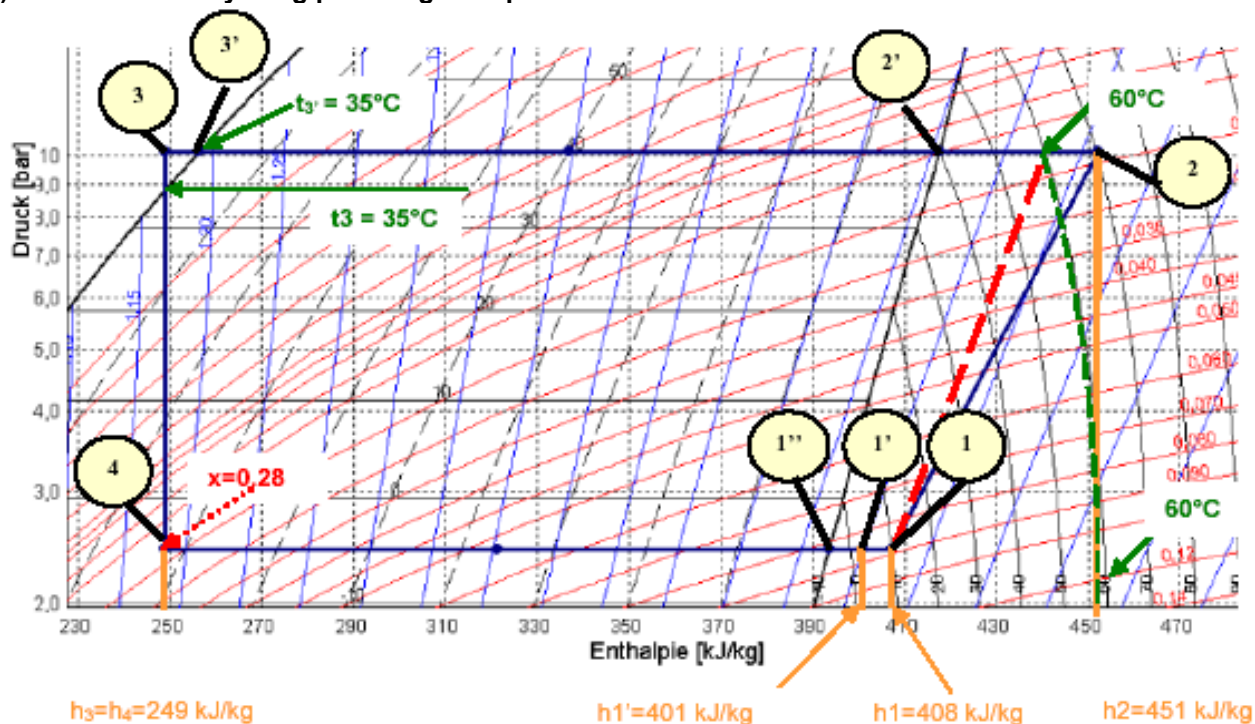
Na inštalácii tepelného čerpadla s chladivom R134a boli namerané tieto hodnoty:

Tlak chladiva na vstupe do kompresora	$p_1 = 1,4 \text{ bar}$
Tlak chladiva na výstupe z kompresora	$p_2 = 9,2 \text{ bar}$
Teplota chladiva na výstupe z výparníka	$t_1' = 3,0 \text{ }^\circ\text{C}$
Teplota chladiva na vstupe do kompresora	$t_1 = 10,0 \text{ }^\circ\text{C}$
Výstupná teplota chladiva z kompresora	$t_2 = 70,0 \text{ }^\circ\text{C}$
Teplota chladiva na vstupe do expanzného ventilu	$t_3 = 35,0 \text{ }^\circ\text{C}$
Atmosférický tlak	$p_{\text{atm}} = 1.0 \text{ bar}$

Určite nasledovné hodnoty:

- znázornenie obehu v log p - h diagrame,
- teplo získané na 1 kg chladiva vo výparníku,
- teplotu prehriateho plynu vystupujúceho z kompresora (predpokladajte izoentropickú kompresiu),
- obsah parnej fázy chladiva vstupujúceho do výparníka,
- podchladenie,
- výkonové číslo COP,
- špecifické teplo prenesené z kondenzátora do ohrievacieho systému.

a) Obeh znázornený v log p - h diagrame pre R134a



b) Teplota získaná na 1 kg chladiva vo výparníku:

$$q_o = h_1' - h_4 = 401 - 249 = 152 \text{ kJ/kg}$$

c) Teplota prehriateho plynu vystupujúceho z kompresora pri izoentropickej kompresii:

Priesečník čiary izoentropickej kompresie z bodu 1 s kondenzačným tlakom určuje bod teploty prehriateho plynu pri predpokladaní bezstratovej izoentropickej kompresie - odčítame **60 °C**.

d) Obsah parnej fáze chladiva vstupujúceho do výparníka:

Obsah parnej fáze x je (v bode 4, pozri obrázok 23) **28%**

e) Podchladenie:

$$\text{Podchladenie} = t_3' - t_3 = 35 - 30 = 5 \text{ K}$$

f) Výkonové číslo COP nameraného reálneho obehu je:

$$\text{COP} = \frac{\text{tepelná kapacita}}{\text{príkion kompresora}} = \frac{Q_c}{P} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1} = \frac{451 - 249}{451 - 408} = 4,7$$

g) Teplota prenesená z kondenzátora do ohrievacieho systému

Teplota ktorá prenesie 1 kg chladiva z kondenzátora do vykurovacieho systému je:

$$q_k = h_2 - h_3 = 451 - 249 = 202 \text{ kJ/kg}$$

6.6 Štandardizované výpočty COP a SPF

Štandardná metodika testu tepelných čerpadiel je definovaná v Európskej norme EN14511 *Klimatizačné zariadenia, chladiče kvapalín a tepelné čerpadlá s elektricky poháňaným kompresorom pre priestorové vykurovanie a chladenie*. Špecifikované normované podmienky pre testy (teploty zdroja a odvodu tepla a pod.) závisia na type tepelného čerpadla (*napríklad voda, vzduch - voda, solanka - voda a pod.*). EN 14511 neurčuje minimálne výkonové kritériá pre tepelné čerpadlá, tie sú dané kvalitatívnymi schémami ako je napríklad D - A - CH nálepka.

Relatívna výkonnosť tepelných čerpadiel rôznych výrobcov môže byť porovnávaná len ak sú výsledky dosiahnuté pri tých istých podmienkach (*teplotné, tlakové a iné*).

Výkonové číslo

Efektívnosť tepelného čerpadla pri jednotlivom prevádzkovom stave (*teplotných podmienkach*) môže byť ocenená (*zhodnotená*) pomocou výkonového čísla (COP). Pri jeho vyčíslení je potrebné zahrnúť do množstva dodávanej pohonnej energie okrem príkonu kompresora aj príkon pomocných (*prídavných, dodatkových*) zariadení vnútri systému tepelného čerpadla (ako sú rôzne regulačné orgány, odmrazovacie zariadenia a iné).

Podľa EN14511 COP je definované ako pomer tepelného výkonu ku efektívnemu príkonu systému tepelného čerpadla. Efektívny príkon jednotky tepelného čerpadla získame z príkonu pre pohon kompresora (*a príkonu potrebného pre odmrazovanie*) plus príkon všetkých regulačných a bezpečnostných orgánov jednotky ako aj proporcionálny príkon dopravných zariadení (*napríklad ventilátorov a čerpadiel*) pre zabezpečenie dopravy teplotných médií vnútri jednotky tepelného čerpadla.

Energetickú efektívnosť pomocou hodnoty COP je možné porovnávať pre jednotlivé tepelné čerpadlá testované podľa EN 14511. Porovnávanie starších testov tepelných čerpadiel podľa predchádzajúcej normy EN 255 je zložité, pretože niektoré podmienky testu boli zmenené.

Sezónny výkonový faktor

Výpočet sezónneho výkonového faktora (SPF) nie je v norme EN 14511 definovaný. Preto pri porovnávaní rôznych systémov tepelných čerpadiel pomocou SPF musia byť určené vonkajšie podmienky a obdobie porovňovania. Malo by sa predpokladať, že porovnávací perioda je celý rok. Ak má faktor SPF reprezentovať významné parametre je potrebné špecifikovať hranice systému pre určenie tepelných a energetických požiadaviek ktoré boli zahrnuté do výpočtu, pričom je potrebné brať do úvahy aj príkony prídavných zariadení a energetických strát.

Pretože príkon prídavných (*pomocných*) zariadení vysoko kvalitných jednotiek je približne 10 % z celého požadovaného príkonu (*pre menej kvalitné jednotky môže byť uvažovaných 15 %*) je nevyhnutné určiť, aký

druh prídavných zariadení bude pri porovnávaní SPF uvažovaný. Obyčajne sú brané do úvahy spotreby energií kompresora, odmrázovania, regulácie a nastavovania parametrov, ventilátorov (*pri tepelných čerpadlách vzduch - voda a vzduch - vzduch*), čerpadiel solanky a ponorných čerpadiel (*pri tepelných čerpadlách solanka - voda a voda - voda*). Spotreba energie cirkulačných čerpadiel vykurovacích systémov sa berie do úvahy len keď sú vstavané do jednotky tepelného čerpadla.

6.7 Kontrolné otázky

- 1) Nakreslite principiálnu schému tepelného čerpadla a vysvetlite funkciu hlavných komponentov.
- 2) Aké sú najčastejšie používané bezpečnostné zariadenia v tepelných čerpadlách?
- 3) Aký je význam reverzibilného systému tepelného čerpadla a ako môže byť takýto obeh realizovaný?
- 4) Aké typy kompresorov sa najčastejšie používajú v tepelných čerpadlách a aké sú výhody jednotlivých typov?
- 5) Popíšte hermetický kompresor. Ako je definovaný tlakový pomer v kompresore?
- 6) V akom stave by malo byť chladivo pred a za expanzným ventilom?
- 7) Aký typ expanzného ventilu sa najčastejšie používa v tepelných čerpadlách a aký je pre to dôvod?
- 8) Ako môže byť udržiavaný potrebný teplotný rozdiel medzi výparnou teplotou a zdrojom tepla?
- 9) Aké typy výmenníkov tepla sú všeobecne používané ako výparníky a kondenzátory v tepelných čerpadlách?
- 10) Aké tri rôzne oblasti sa nachádzajú v kondenzátor, ktorá zóna je najlepšia pre prenos tepla a prečo?
- 11) Akú funkciu má v obehu tepelného čerpadla priehľadítka a zberač chladiva?
- 12) Nakreslite celý okruh tepelného čerpadla so štyrmi hlavnými komponentami vrátane požadovaných armatúr a príslušenstva.
- 13) Mazací olej: Aké sú hlavné funkcie mazacieho oleja v okruhu tepelného čerpadla? V akých systémoch sa môžu vyskytnúť problémy s návratom oleja do kompresora a v akej rúrke obehu?
- 14) Aké vlastnosti by malo mať chladivo vo vzťahu k technickým požiadavkám bezpečnosti a ekologického pôsobenia?
- 15) Aké sú rozdiely medzi azeotropickými a zeotropickými zmesami chladív a aké špeciálne charakteristiky má zeotropické chladivo?
- 16) Aké aspekty je potrebné zobrať do úvahy pri výmene starého za nové chladivo v existujúcich systémoch?
- 17) Aké sú vo všeobecnosti najčastejšie prípady nehôd počas inštalácie tepelných čerpadiel a aké bezpečnostné ohľady musia byť brané do úvahy pri narábaní s chladivami?
- 18) Popíšte výpočet COP a SPF.
- 19) Aké najdôležitejšie faktory vplyvajú na hodnotu SPF tepelného čerpadla?
- 20) Aké sú najdôležitejšie parametre pre hodnotenie prevádzkových podmienok tepelných čerpadiel a ako môžu byť počítané /oceňované?
- 21) Prehriatie: Aké sú všeobecné hodnoty používaného prehriatia? V ktorej časti tepelného čerpadla sa vyskytuje prehriatie? Aké je riziko príliš malého prehriatia a ako by mal expanzný ventil reagovať v tomto prípade?
- 22) Podchladenie: Aké sú všeobecne používané hodnoty podchladenia? V akom mieste okruhu tepelného čerpadla je dôležité, aby chladivo bolo podchladené? Aký býva dôvod príliš malého alebo veľkého podchladenia?
- 23) Výstupná teplota z kompresora: Aké sú normálne hodnoty tejto teploty? Čo sa môže stať ak je výstupná teplota príliš veľká a čo môže byť dôvodom pre stúpanie tejto teploty?

Príklad:

Na inštalácii tepelného čerpadla s chladivom R134a boli namerané tieto hodnoty:

Kondenzačná teplota :	$t_c = 50,0 \text{ } ^\circ\text{C}$
Výparná teplota:	$t_o = 4,0 \text{ } ^\circ\text{C}$
Teplota chladiva na výstupe z výparníka:	$t_{1'} = 10,0 \text{ } ^\circ\text{C}$
Teplota chladiva na vstupe do kompresora:	$t_1 = 16,0 \text{ } ^\circ\text{C}$
Výstupná teplota chladiva z kompresora:	$t_2 = 80,0 \text{ } ^\circ\text{C}$
Podchladenie:	4 K

Určíte nasledovné hodnoty:

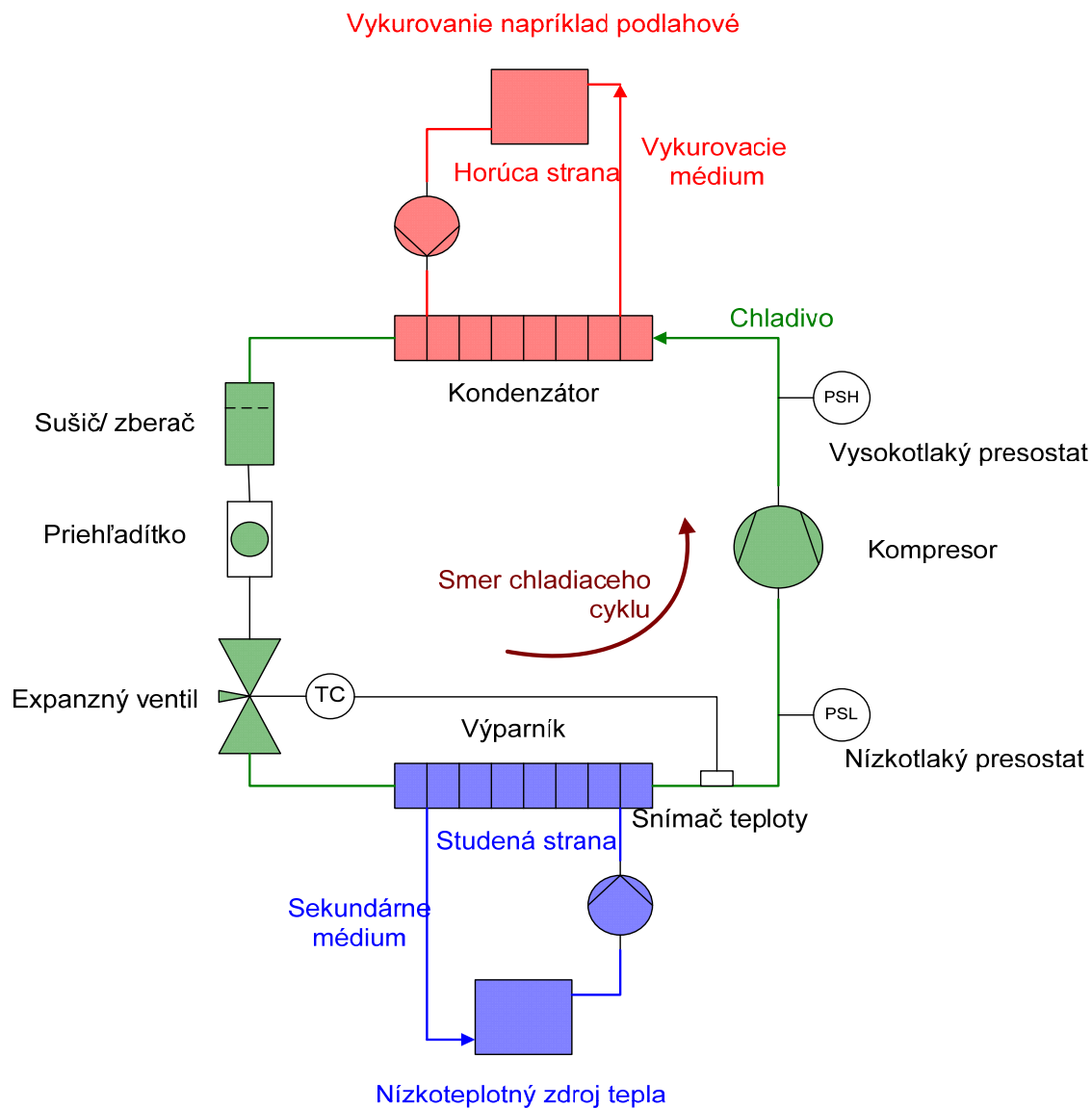
nakreslite obeh v diagrame log p-h	teplota prehriateho plynu na výstupe z kompresora pri uvažovaní izoentropickej kompresie
teplota chladiva na vstupe do expanzného ventilu	obsah pary chladiva na vstupe do výparníka
teplo odoberané 1 kg chladiva vo výparníku	výkonové číslo COP
špecifické teplo odovzdané do vykurovacieho systému kondenzátorom	

Návody na praktické cvičenia

1. Praktické cvičenia s celou skupinou

a. Diskusia o komponentoch chladiaceho okruhu, bezpečnosti prevádzky a meracích miestach

⇒ Komponenty chladiaceho okruhu



- Výparník:**
- vyparovanie
 - absorpcia tepla z nízopotenciálneho zdroja
 - prehriatie chladiva
- Kompresor:**
- kompresia pár chladiva
 - zvýšenie tlaku a teploty
- Kondenzátor:**
- prenos tepla do vykurovacieho média
 - kondenzácia chladiva
 - podchladenie

Expanzný ventil: - privedie chladivo na nízky tlak a teplotu
- časť chladiva sa zmení z kvapaliny na paru
- ovládanie prietoku chladiva (*pomocou udržiavania prehriatia*)

Nízkotlaký vypínač (*alebo presostat*): zaisťuje, aby tlak na nízkotlakej strane nepoklesol pod určitú úroveň

Príčiny príliš nízkeho tlaku:

- netesnosť a strata chladiva,
- ak zdroj nízkopotencionálneho tepla je nedostatočný.

Vysokotlaký vypínač (*alebo presostat*): zabráni nadmernému zvýšeniu tlaku na vysokotlakej strane

Príčiny príliš vysokého tlaku:

- teplo nemôže byť odovzdané vykurovaciemu médiu (*čerpadlo je pokazené, vzduch vo vykurovacom okruhu, zatvorené ventily, apod.*)
- príliš veľa chladiva v tepelnom čerpadle.

Filter- dehydrátor: zachytáva vlhkosť a znečistenie v chladiacom okruhu.

Zberač chladiva: zásobník chladiva pre chladiaci okruh.

Priehľadítko: ukazuje, či chladivo vedené k expanznému ventilu je úplne skondenzované (*bez bubliniek*).

Príčiny bubliniek v priehľadítke:

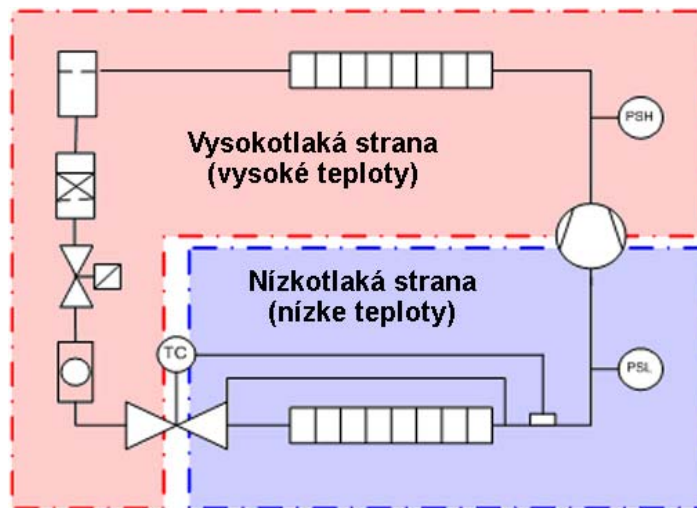
- málo chladiva v chladiacom okruhu
- sušič je príliš zanesený respektíve saturovaný vlhkosťou (*pokles tlaku na sušiči je príliš vysoký*)

Magnetický ventil: zatvára sa po vypnutí tepelného čerpadla

- Keď kompresor zastaví – bez magnetického ventilu – tlaky na nízkej i vysokotlakej strane sa vyrovnajú. Príliš veľa chladiva sa dostane do výparníka, kde skondenzuje (*pretože tlak vo výparníku bude vyšší ako pri behu kompresora*). Keď sa chladiaci okruh znovu naštartuje vznikne nebezpečenstvo, že kompresor nasaje tekuté chladivo z výparníka.
- Pump down. Tento systém má magnetický ventil pred expanzným ventilom, ktorý sa uzatvára pred vypnutím kompresora, ktorý sa vypína až po odsatí chladiva z výparníka. Kompresor chladivo vytlačí a po skondenzovaní pretečie do zberača. Kompresor sa vypne nízkotlakým presostatom. Môžu sa vykonávať opravy na chladiacom okruhu.

⇒ **Bezpečnostné opatrenia**

Identifikácia komponentov vo vysokotlakej a nízkotlakej časti chladiaceho okruhu:

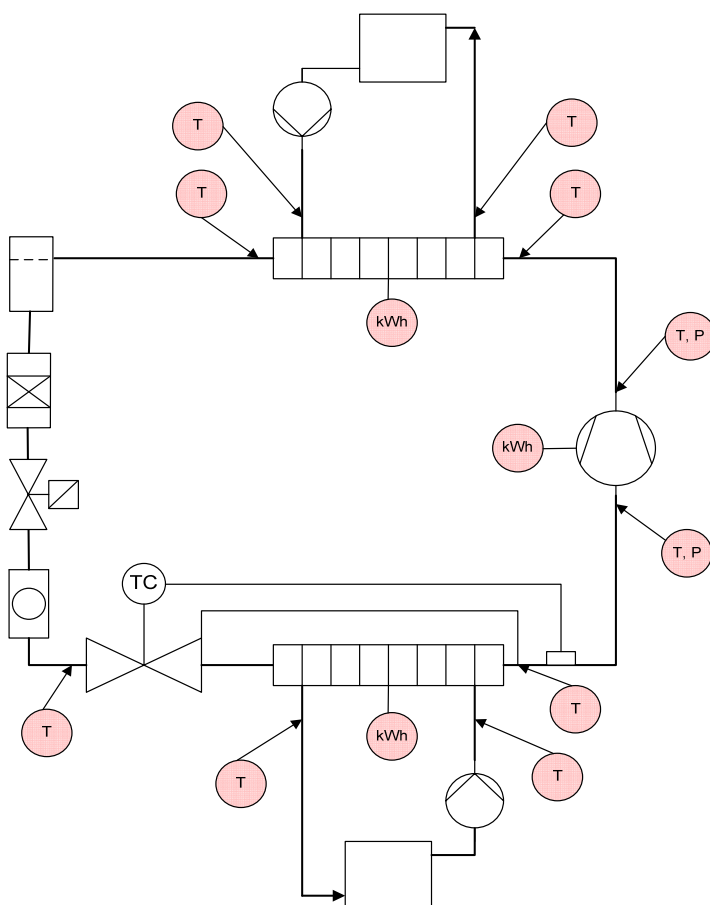


Nebezpečenstvo omrzlín:

Vzhľadom na fakt, že chladivo pri atmosférickom tlaku sa veľmi rýchlo vyparuje, vzniká nebezpečenstvo vzniku omrzlín. Chladivá potrebujú energiu pre vyparovanie – a ak majú kontakt s kožou využijú energiu kože na vyparovanie – koža bude reagovať vznikom omrzlín – ktoré majú podobné príznaky ako popáleniny. Prvý, druhý a tretí stupeň popálenín môže byť spôsobený omrzlinami.

Preto je vždy potrebné nosiť rukavice a okuliare pokiaľ pracujete s chladivom.

⇒ Meracie miesta



Chladiaci okruh:

- Tlak na vstupe do kompresora
- Tlak na výstupe z kompresora
- Teplota na vstupe do kompresora
- Teplota na výstupe z kompresora
- Teplota na vstupe do kondenzátora
- Teplota na výstupe z kondenzátora
- Teplota na vstupe do expanzného ventilu
- Teplota za výparníkom
- Elektrický príkon kompresora

Vykurovací okruh:

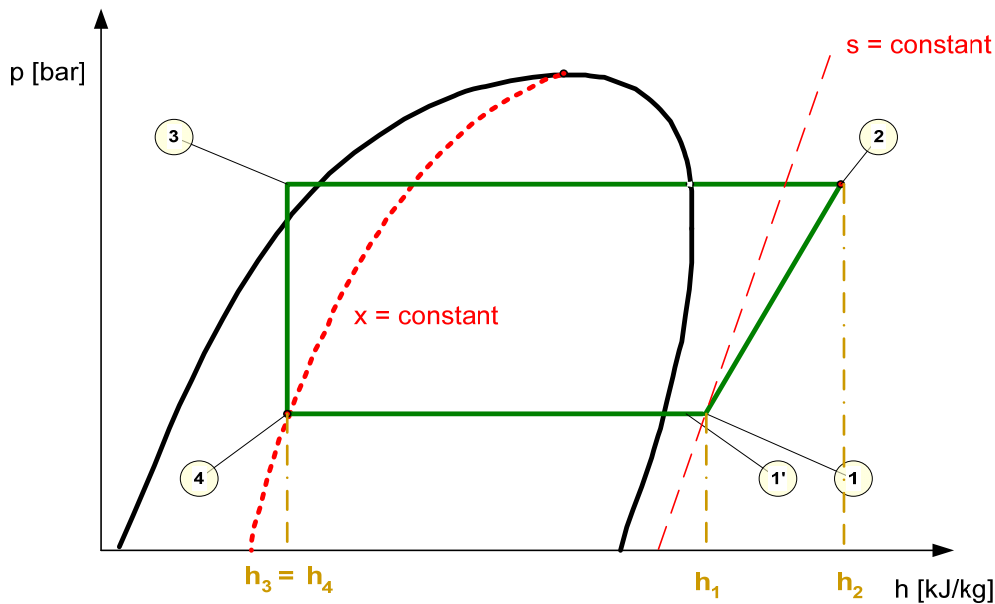
- Teplota vykurovacej vody
- Teplota vratnej vody
- Prietok vykurovacej vody

Zdroj tepla:

- Teplota privádzanej nemrznúcej zmesi (vody)
- Teplota odvádzanej nemrznúcej zmesi (vody)
- Odobrané teplo z nízko-teplotného zdroja, alebo prietok v systéme nízko-potencionálneho zdroja tepla

b. Opakovanie metód výpočtu COP

⇒ Použitím log p-h diagramu



- 1 Vstup do kompresora
- 1' Výstup z výparníka
- 2 výstup z kompresora
- 3 Vstup do expanzného ventilu
- 4 Vstup do výparníka

$$COP = \frac{\text{kondenzacný výkon}}{\text{elektrický príkon}} = \frac{Q_k}{P} = \frac{\dot{m} \cdot (h_2 - h_3)}{\dot{m} \cdot (h_2 - h_1)} = \frac{(h_2 - h_3)}{(h_2 - h_1)}$$

⇒ Použitím vykurovacieho výkonu a elektrického príkonu

$$COP = \frac{\text{vykurovací výkon}}{\text{elektrický príkon}} = \frac{Q_k}{P}$$

$$Q_k = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta T \quad \left[\frac{\text{kJ}}{\text{s}} = \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot K = \text{kW} \right]$$

c. Vplyv povrchov výmenníkov na výkon tepelné čerpadla vzduch/vzduch

Zmerajte COP tepelného čerpadla vzduch/vzduch v normálnych prevádzkových podmienkach a potom si overte efekt redukcie plochy výmenníka, cez ktorú preteká vzduch na výparníku a tiež kondenzátore.

Kondenzátor:

- ⇒ Znížte prietok vzduchu cez kondenzátor
- ⇒ Skontrolujte kondenzačnú teplotu a tlak (*budú rásť*)
- ⇒ Určite COP pri týchto podmienkach (*COP bude negatívne ovplyvnené rastúcim kondenzačným tlakom*)

Výparník:

- ⇒ Znížte prietok vzduchu cez výparník
- ⇒ Skontrolujte výparnú teplotu a tlak (*budú klesať*)

- ⇒ Určite COP pri týchto podmienkach (*COP bude negatívne ovplyvnené klesajúcim výparným tlakom*)

Záver: Zníženie, obmedzenie veľkosti plochy oboch výmenníkov tepla má negatívny vplyv na COP tepelného čerpadla.

2. Praktické cvičenia v malých skupinách

Nasledovné problémy by mali byť riešené v malých skupinách:

- a. Kreslenie funkčnej schémy chladiaceho okruhu tepelného čerpadla so všetkými komponentmi a zakreslenie miest meraní v danej schéme.

Výsledné schéma pozrite v bode 1a.

- b. Meranie zodpovedajúcich teplôt a tlakov v chladiacom okruhu. Zapište namerané údaje k zodpovedajúcim miestam merania na schéme chladiaceho okruhu.

Výsledné schéma pozrite v bode 1a.

- c. S pomocou nameraných údajov vypočítajte COP chladiaceho okruhu nasledovnými spôsobmi:

⇒ Nakreslením chladiaceho cyklu v log p-h – diagrame a vypočítaním COP s pomocou tohto diagramu.

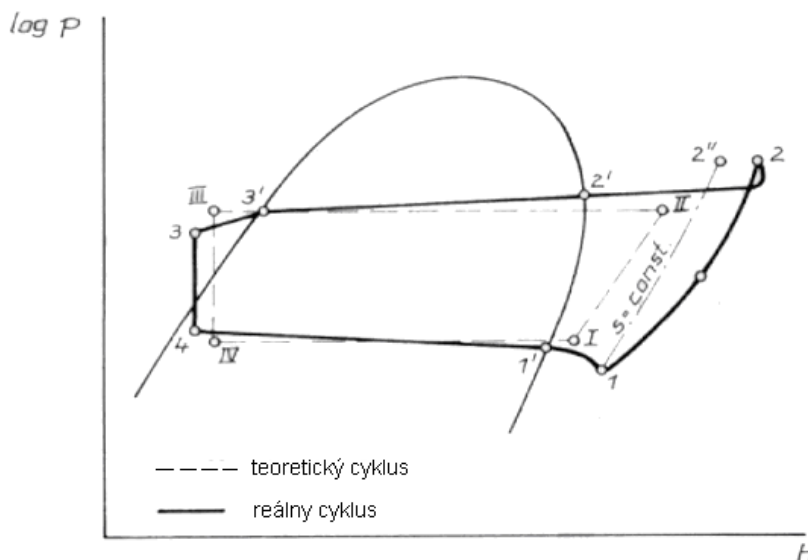
⇒ Vypočítaním COP tepelného čerpadla s pomocou hmotnostného prietoku a teplotného rozdielu vykurovacej vody a elektrického príkonu kompresora.

Výsledok pozrite v bode 1b.

Výsledky oboch metód výpočtu COP a príčiny odchýlok by mali byť diskutované v skupinách.

Príčinami je niekoľko meracích neurčitostí, nepresností:

- *Merania teplôt sú len na povrchu trubiek*
- *Nepresnosti v zakreslení do cyklu v diagrame*
- *Reálny cyklus tepelného čerpadla sa mení a je iný ako zidealizovaný v log p-h diagrame a podobne.*



- d. Nakreslenie dvoch výkonových diagramov tepelného čerpadla – jeden by mal ukázať vplyv teplôt na strane výparníka (*solanky*) na výkonové číslo COP – a druhý vplyv teplôt na strane kondenzátora (*vykurovacej vody*) na COP.

Výsledok 1 – Meniaca sa kondenzačná teplota:

Podobne ako v nasledovnom diagrame



Výsledok 2 – Meniaca sa vyparovacia teplota:

Podobne ako v nasledovnom diagrame



V ideálnom prípade tieto diagramy môžu byť vytvorené meniacimi sa teplotnými úrovňami vykurovania a teplotného zdroja priamo na modeli a COP môže byť tak vypočítané z nameraných údajov. Ak zariadenie potrebné zmeny teplôt nedovoľuje diagram môže byť tiež vytvorený s pomocou log p-h diagramu.

Výkonové diagramy by mali byť diskutované v skupinách. Poukázať by sa malo na vplyv výkonovej charakteristiky tepelného čerpadla na ekonomiku prevádzky.

e. V poslednom kroku najdôležitejšie prevádzkové parametre (*ako prehriatie, podchladenie, teplota na výtlaku kompresora*) sa vyčíslia a diskutujú. Každá skupina vypracuje jej názor na inštaláciu vo vzťahu k prevádzkovým parametrom.

⇒ Prehriatie

Čo je prehriatie: Rozdiel medzi teplotou pár v sacom potrubí a výparnou teplotou vo výparníku.

Ako môže byť prehriatie merané a vypočítané:

Prehriatie vo výparníku = $T_1' - T_1''$

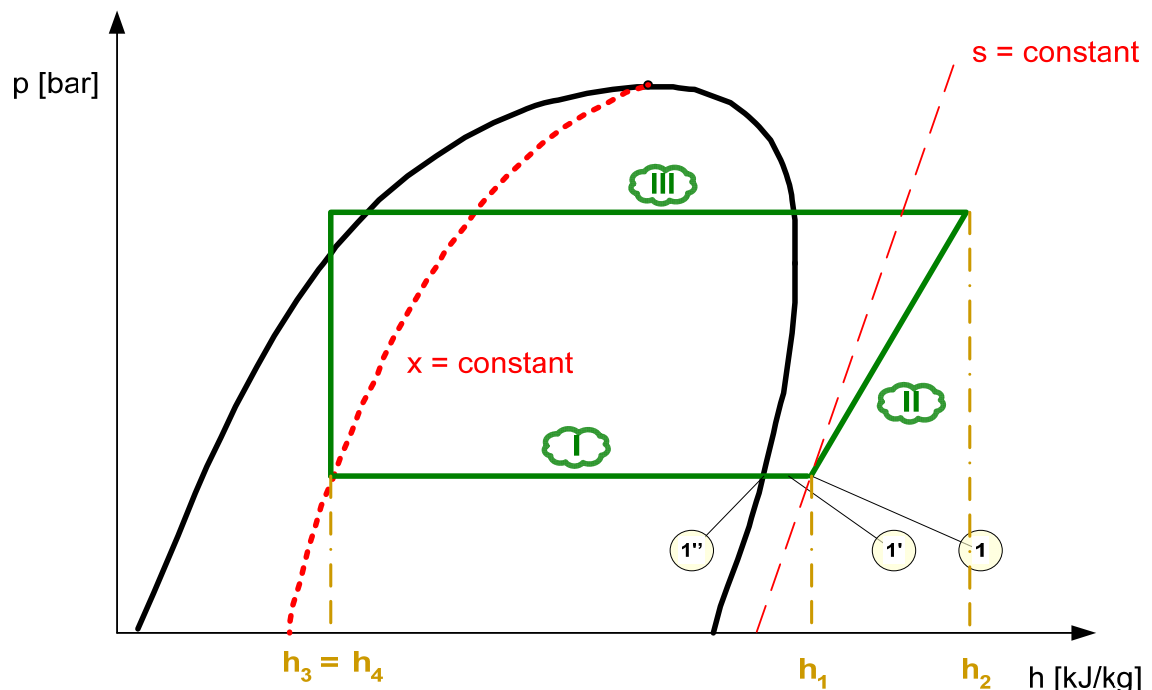
Prehriatie v sacom potrubí = $T_1 - T_1'$

Celkové prehriatie = $T_1 - T_1''$ ale Prehriatie vo výparníku + Prehriatie v sacom potrubí

T_1 ...Teplota na vstupe do kompresora

T_1' ...Teplota na výstupe z výparníka

T_1'' ...Výparná teplota (*môže byť väčšinou prečítaná zo stupnice na tlakomere alebo môže byť vyhľadaná v termodynamických tabuľkách pre dané chladivo – v závislosti od výparného tlaku*)



Typické hodnoty pre prehriatie: sú medzi 4 až 8 °C

Prečo prehriatie:

- Aby sa zaistilo, že všetko chladivo sa vyparí a žiadne kvapalnú chladivo sa nedostane do kompresora
- Expanzný ventil potrebuje prehriatie ako riadiacu hodnotu pre riadenie prietoku chladiva cez expanzný ventil

Problémy ak prehriatie je príliš veľké:

- Výparník je využívaný neefektívne (nižšie COP) pretože veľká plocha výparníka je využitá pre prehrievanie pár chladiva -> v tejto časti výparníka prenos tepla nie je veľmi účinný, pretože sa v ňom nachádzajú len pary chladiva
- Výtlačná teplota z kompresora sa so zvyšujúcim prehriatím tiež zvyšuje a bude zbytočne vysoká

Problémy ak prehriatie je príliš malé:

- tekuté chladivo môže vstúpiť do kompresora -> nízka účinnosť kompresora a nebezpečenstvo poškodenia

⇒ Podchladenie

Čo je to podchladenie: indikuje o koľko stupňov bolo chladivo ochladené pod teplotu kondenzácie.

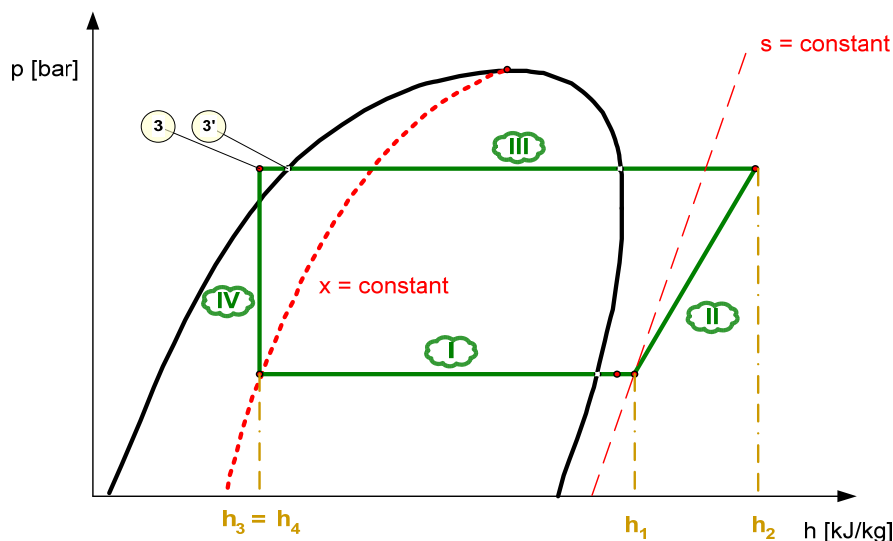
Ako môže byť namerané a vypočítané:

$$\text{Podchladenie} = T_{3'} - T_3$$

T_3 ... Teplota na vstupe do expanzného ventilu

$T_{3'}$... Kondenzačná teplota (môže byť väčšinou prečítaná zo stupnice na tlakomery alebo môže byť vyhľadaná v termodynamických tabuľkách pre dané chladivo – v závislosti od kondenzačného tlaku)

Ak sa nameria teplota na výstupe z kondenzátora (namiesto na vstupe do expanzného ventilu) a vypočíta sa podchladenie, pôjde o podchladenie samotného kondenzátora.



Typické hodnoty pre podchladenie: medzi 2 až 5 °C

Problémy, ak podchladenie je príliš veľké:

- Indikuje, že v chladiacom okruhu je príliš veľa chladiva -> nižšie COP pretože nie je využitý celý povrch kondenzátora (z dôvodu čiastočného zaplnenia tekutým chladivom).
- Je tiež riziko, že vysokotlaký presostat vypne kompresor z dôvodu rastúceho kondenzačného tlaku.

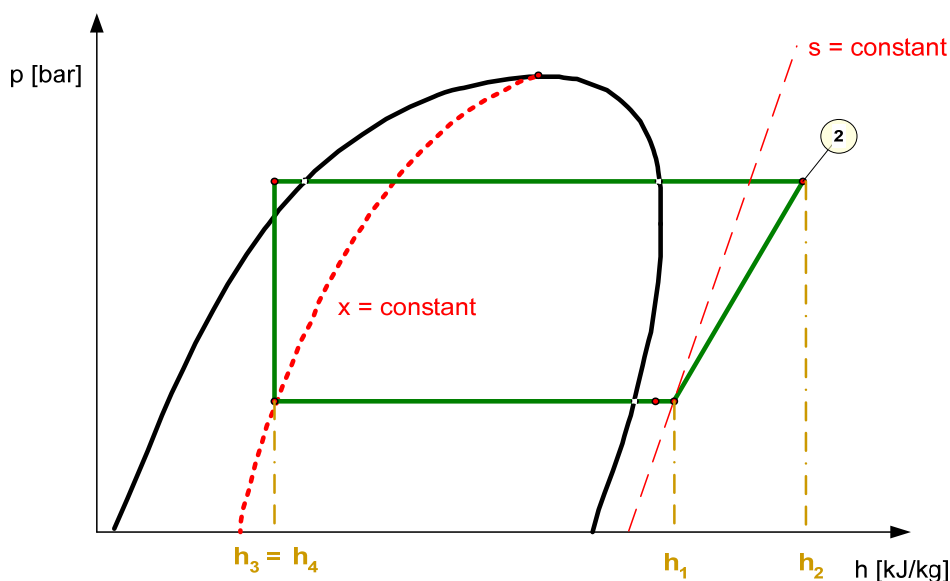
Problémy, ak podchladenie je príliš malé:

- Môže indikovať nedostatok chladiva, ktorý vedie k nižšej účinnosti a k nižšiemu COP.
- Riziko, že pary chladiva vstúpia do expanzného ventilu -> indikácia bublinkami v priezorníku.

⇒ **Výtlačná teplota z kompresora**

Ako môže byť meraná:

Teplota povrchu výtlačného potrubia z kompresora (*teplota na výstupe z kompresora – T2*) približne zodpovedá teplote chladiva vytláčaného z kompresora.



Výtlačná teplota z kompresora má byť nižšia ako 120 °C

Problémy ak výtlačná teplota je príliš vysoká:

- Olej môže byť pripaľovaný pri vysokých teplotách > 160 °C
- Príčinami môžu byť príliš nízka výparná teplota, nedostatok chladiva, alebo opotrebený kompresor

Pre všetky popísané činnosti, účastníci školenia môžu používať parné tabuľky a log p,h – diagramy, manometre, a zariadenia na meranie teplôt, rozvádzač, multimeter a diagram elektrického zapojenia pre daný model tepelného čerpadla.

Poznámky