

Kapitola	Názov	Strana
7.3	REGULÁTORY ZAPLAVENIA VÝPARNÍKOV CHLADIVOM	1
7.3.1	Kapilárne rúrky	3
7.3.2	Expanzné ventily	4
7.3.2.1	EEV	21
7.3.3	Kompresor, výparník, expanzný ventil	26
	Literatúra	27

7.3 REGULÁTORY ZAPLAVENIA VÝPARNÍKOV CHLADIVOM

Chladiace zariadenie musí byť dimenzované na maximálny výkon pre najväčšiu spotrebu chladu. Z toho vyplýva, že pri prevádzke za priaznivejších podmienok majú bežné chladiace zariadenia nadbytok výkonu - sú predimenzované. Prevádzka väčšiny chladiacich zariadení sa reguluje v závislosti od momentálnej spotreby chladu. Výkon chladiaceho zariadenia Q_0 závisí pri danom chladive a prevádzkových parametroch zariadenia od hmotnostného prietoku chladiva m :

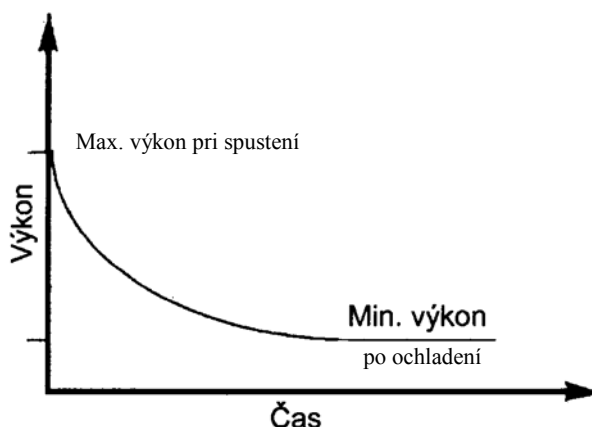
$$Q_0 = m \cdot (h_{\text{vystup výparník}} - h_{\text{vstup výparník}}) \quad /W/$$

Čím väčší prietok chladiva, tým väčší je chladiaci výkon. Z rovnice výparníka:

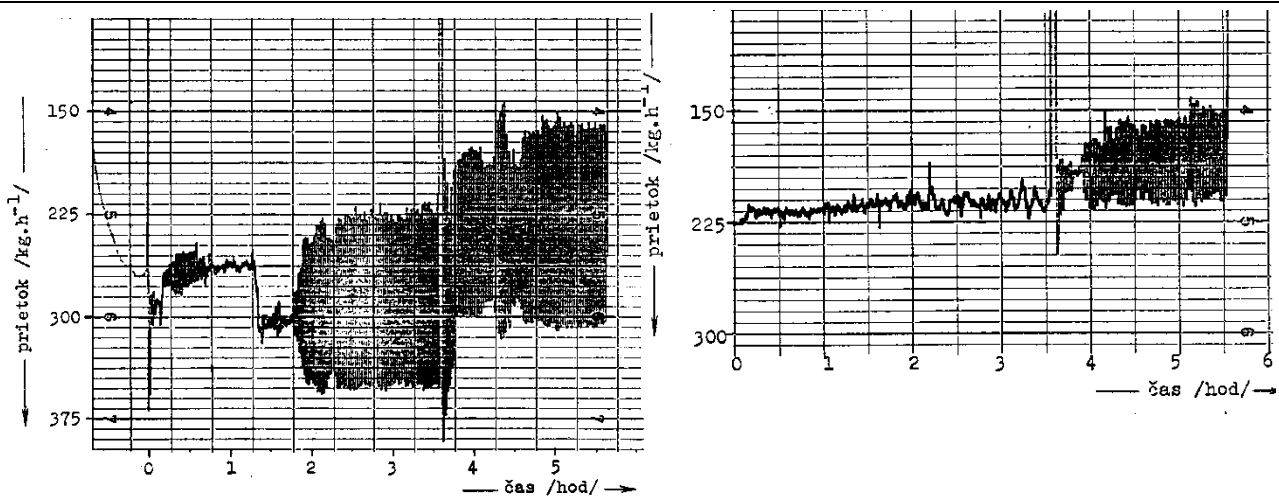
$$Q_0 = S_0 \cdot k_0 \cdot (t_{\text{prostredia}} - t_{\text{výparna}})$$

je zrejmé, že pri danom súčinitele prestupu tepla a rozdiel teplot prostredia a vo výparníku, rozhodujúcou pre čo najvyšší výkon výparníka je využitá plocha výparníka, ktorú je potrebné maximalizovať zaplavením kvapalným chladivom aj pri meniacom sa tepelnom zaťažení výparníka.

Regulácia expanzie chladiva pri meniacom sa chladiacom výkone



- Rozdiely medzi minimálnou a maximálnou potrebou dosahujú niekedy až 300 %, pričom potreba maximálneho výkonu netrvá často dlhšie ako jednu hodinu
- Aby bol zaistený objem pretekajúceho kvapalného chladiva expanzným ventilom, ktorý je potrebný na zaistenie maximálneho výkonu, musí byť ventil predimenzovaný. To so sebou prináša niekedy až podstatné zhoršenie regulačného priebehu v dôsledku nadmerného množstva chladiva nastrekovaného do výparníka pri znížení potrebného výkonu.
- Správna veľkosť a druh expanzného ventilu pre dané podmienky významne ovplyvňujú energetickú efektívnosť prevádzky.
- Vzťah výkonu expanzného ventilu, kompresora a výmenníka tepla pri meniacej sa výparnej alebo kondenzačnej teplote je popísaný v kapitolách 5 a 7.2



Obrázok Prietok chladiva R12 (naľavo) a R134a (napravo) v chladiacom okruhu s akumuláciou chladu v ľade je spočiatku pri plne otvorenom TEV. Po vytvorení ľadu na trúbkách výparníka TEV začína privierať. Chladivo R134a má väčšiu hmotnostnú chladivosť ako chladivo R12, okruh pracuje s nižším hmotnostným prietokom chladiva R134a.

Regulácia prietoku sa dá robiť aj ručne. To si však vyžaduje trvalý dohľad obsluhy. Existuje niekoľko druhov regulátorov prietoku chladiva:

1. **plavákové regulátory** nízkotlaké, vysokotlaké:

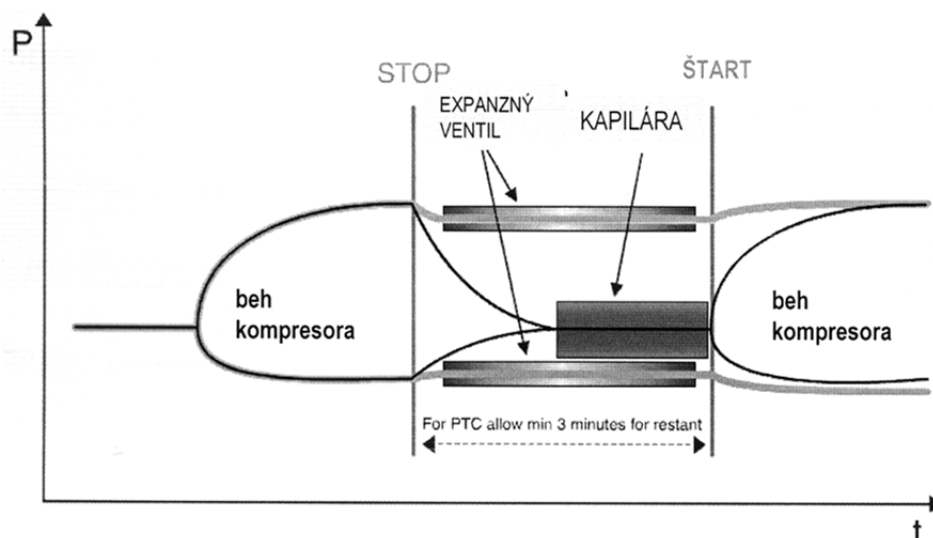
- ◆ priame umiestnené pod alebo nad výparníkom
- ◆ nepriame (*ovládané elektricky*),

2. **expanzné ventily:**

- ◆ automatické expanzné ventily,
- ◆ termostatické expanzné ventily s vnútorným vyrovnaním tlakov,
- ◆ termostatické expanzné ventily s vonkajším vyrovnaním tlakov,
- ◆ termostatické expanzné ventily s obmedzením sacieho tlaku (môžu mať vnútorné i vonkajšie vyrovnanie tlaku)
- ◆ stupňová regulácia expanzie chladiva usporiadaním dvoch dýz do série
- ◆ Elektronicky riadené expanzné ventily pulzné
- ◆ Elektronicky riadené expanzné ventily s krokovým motorom:
 - s ihlou
 - posuvnou doskou so *zväčšujúcim sa prietokovým otvorom*

3. **kapilárne rúrky.**

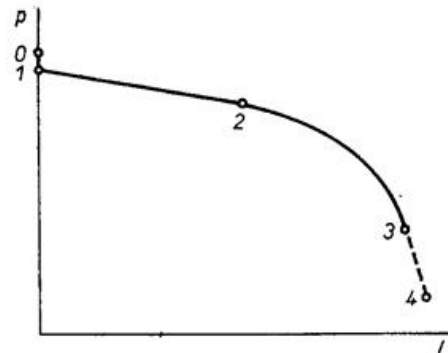
Keďže plavákové regulátory sa vyskytujú len ojedinele v ďalšom je pozornosť venovaná prevažne expanzným ventilom a kapiláram, ktoré priamo ovplyvňujú hospodárnosť chladiaceho okruhu.



Obrázok 1 Rozdiel v štarte kompresora v okruhu s kapilárkou a TEV. V okruhoch s kapilárkou sa tlaky po zastavení kompresora vyrovnávajú. V okruhoch s EV kompresor štartuje s rozdielom tlakov.

7.3.1 Kapilárne rúrky

Expanzné ventily môžu do určitého výkonu nahradiť kapiláry. Používajú sa v najmenších chladiacich zariadeniach, ale i u iných, ktorých výrobné série sú veľmi vysoké. Prietokový odpor kapilárnej rúrky nie je nastaviteľný a je daný vnútorným priemerom a dĺžkou. Pomery pri prietoku chladiva kapilárou je možné sledovať na obrázku, znázorňujúcom závislosť tlaku v rúrke od jej dĺžky.



Obrázok 2
Závislosť tlaku p od dĺžky kapiláry l

Ak vstupuje do rúrky podchladené chladivo, vzniká pri vtekaní malý pokles tlaku 0-1. Až k bodu 2 tlak chladiva klesá, ale chladivo je stále ešte v kvapalnom stave. V bode 2 sa začína tvoriť para a ďalej už pokles tlaku nie je lineárny a ku koncu rúrky stále rýchlejšie klesá. V tejto časti rúrky prúdi zmes kvapaliny a pary. Zmes opúšťa trubicu za stavu daného bodom 3, pri kritickej rýchlosti, alebo nižšej. Ak je táto rýchlosť kritická dôjde k poslednej časti expanzie mimo kapiláru, ako to zodpovedá bodu 4.

V časti 0-2 sa teplota chladiva nemení. Od bodu 2, v ktorom tlak klesol na hodnotu zodpovedajúcu teplote nasýtených pár chladiva, je pokles tlaku sprevádzaný neustálym poklesom teploty tak, ako to zodpovedá závislosti teploty a tlaku nasýtených pár chladiva.

Vplyvy na prietok chladiva kapilárou

Funkcia kapilárnej rúrky je závislá od veľkosti náplne chladiva a tlakových pomerov v chladiacom okruhu. Ak sa zmení okolitá teplota alebo tepelné zaťaženie, prejaví sa to vo funkcii kapilárnej rúrky. Pretože pre prietok kapilárou je rozhodujúci rozdiel tlakov, bude mať najväčší vplyv zmena kondenzačného tlaku. Zvýšenie kondenzačného tlaku sa prejaví posunutím bodu 2 smerom ku vtekaniu do rúrky, až konečne časť chladiva prechádza kapilárou vo forme pary.

- So zväčšením kondenzačného tlaku sa totiž prietok chladiva rúrkou zvýšil, ale množstvo chladiva, čerpané kompresorom, sa zmenšilo. So zvýšeným prietokom chladiva do výparníku je spojená energetická strata. Chladivo sa hromadí vo výparníku, pretože kompresor má menší výkon.
- Poklesom okolitej teploty sa naopak zníži kondenzačný tlak. Tým sa zníži množstvo chladiva, pretekajúceho kapilárou. Bod 2 sa posunie smerom ku koncu rúrky a chladivo sa začne hromadiť v kondenzátore. Do určitej miery dôjde k návratu pôvodných pomerov tým, že zaplavením vnútorného priestoru kondenzátora sa zmenší jeho kondenzačná plocha a kondenzačný tlak opäť stúpne. To však znamená tiež energetickú stratu.

Autoregulačné vlastnosti okruhu s kapilárou

Pretože behom periódy kľudu kompresora všetko chladivo pretečie z kondenzátora do výparníka, nemá zberač chladiva na vysokotlakovej strane okruhu význam. Naopak je treba, aby obsah kondenzátora a obsah priestoru medzi ním a kapilárnou trubicou boli čo najmenšie. Taktiež obsah výparníka by mal byť čo najmenší, aby množstvo chladiva, nutného k zaplaveniu celej jeho vnútornej plochy bolo čo najmenšie.

Použitie kapilárnej rúrky ako expanzného zariadenia má značné výhody. Celé zariadenie je jednoduchšie, lacnejšie, prevádzkovo spoľahlivejšie. Elektromotor kompresora sa spúšťa pri vyrovnaných tlakoch na sacej i výtlačnej strane kompresora. Môže sa teda použiť lacnejší elektromotor s nízkym záberovým momentom, ktorého účinnosť i účinník sú za normálnych prevádzkových pomerov vysoké.

Vyžaduje sa zvýšená tesnosť, čistota, čo najnižšia vlhkosť a množstvo ďalších vlastností. Nie sú to len mechanické nečistoty, ktoré môžu upchať kapilárnu rúrku. K upchatiu rúrky dochádza stuhnutím oleja, voskom, ktorý sa z neho vylučuje, kalom vznikajúcim pri starnutí oleja a grafitom uvoľňujúcim sa zo stien kovových odliatok. Vzhľadom k citlivosti týchto zariadení k stratám chladiva je možné kapilárnu rúrku použiť len v zariadeniach s hermetickým kompresorom a okruhom s nerozoberateľnými spojmi. Pretože zaplavenie výparníka vzrastá s poklesom teploty chladeného priestoru, je možné jeho teplotu regulovať výparníkovým termostatom.

Dimenzovanie kapilárnej rúrky

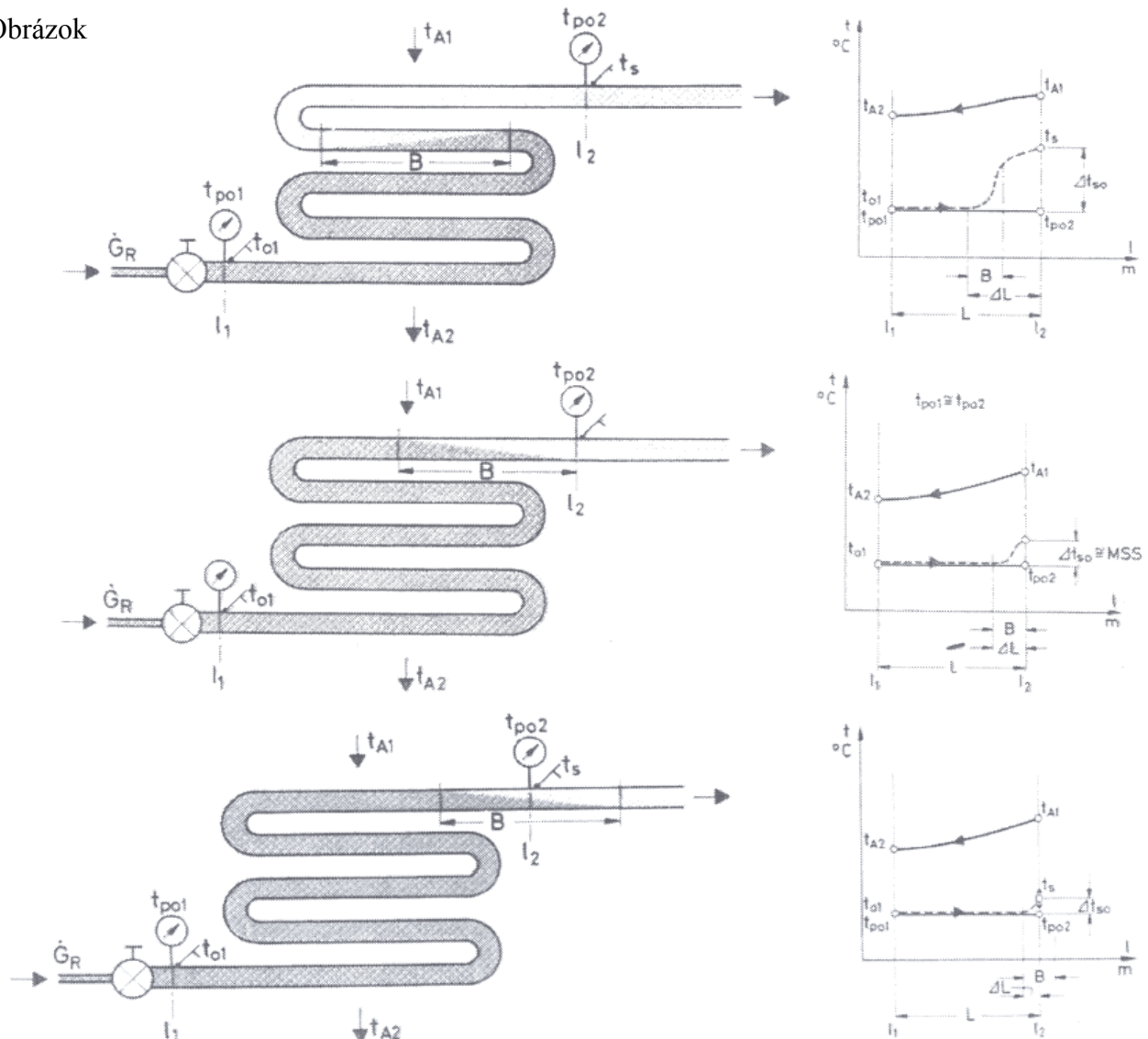
Pre určenie rozmerov kapilárnej rúrky existujú programy na základe experimentálnych skúseností. Na prietokový odpor rúrky má veľký vplyv drsnosť vnútorného povrchu, koncentrácia oleja v chladive.

7.3.2 Expanzné ventily

Obecné zásady prívodu chladiva do výparníka expanznými ventilmi

V suchých výparníkoch, v ktorých sa chladivo vyparuje vo vnútri rúrok, musí byť prívod chladiva riadený v závislosti od zaplavenia ich teplo výmennej plochy. Nedostatočné zaplavenie znižuje výkon výparníka, preplavenie ohrozuje kompresor odsávajúci pary chladiva opúšťajúce výparník. Na obrázku 3 je ukázaná prevádzka výparníka pri rôznom zaplavení jeho teplo výmennej plochy [1].

Obrázok



Obrázok 3 Prehrievanie pâr chladiva vo výparníku

Dôsledky zmien veľkosti zaplavenia plochy výparníka a MSS – minimálne stabilné prehriatie

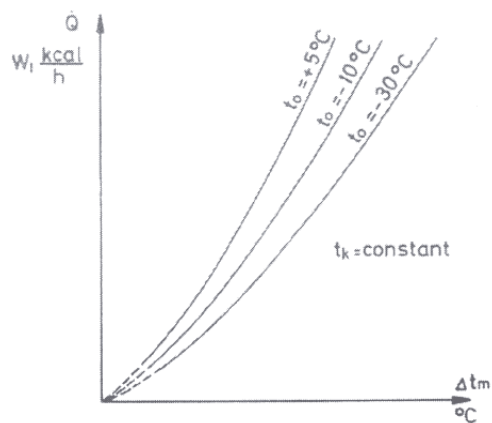
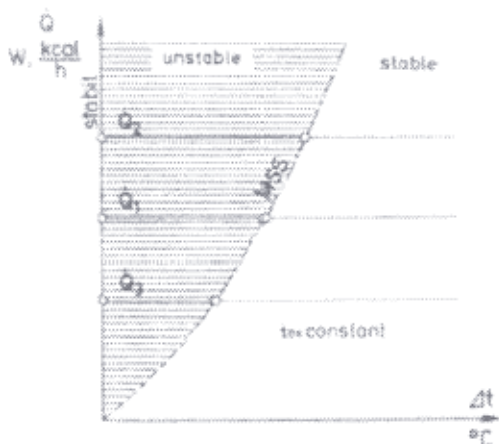
1. V prvom prípade na obrázku je vo výparníku nedostatok chladiva a para vystupujúca z výparníka je značne prehriata. Teplo výmenná plocha je málo využitá, pre ochladenie chladenej látky (t_u z t_{A1} na t_{A2}). Je preto nutný väčší rozdiel teploty medzi chladenou látkou a vyparujúcim sa chladivom a teda nižšia výparná teplota. Jediným kladom je skutočnosť, že prevádzka expanzného ventilu a celého systému je stabilná.
2. Optimálny je druhý prípad, kedy všetko chladivo sa vyparilo pred umiestneným termočlánkom expanzného ventilu a pomocou prehrievacieho úseku výparníka (t_u vyznačený ako B) je zaručené, že para má minimálne prehriatie potrebné pre prevádzku so stabilným prehriatím.

Toto prehriatie Δt_{so} je tu označené ako MSS (minimum stable signal).

3. V treťom prípade je prehriatie chladiva na výstupe z výparníka natoľko malé, že v mieste umiestnenia termočlánku expanzného ventilu sa môžu vyskytnúť čiastočky nevypareného chladiva. To je síce priaznivé z hľadiska využitia teplo výmennej plochy výparníka, vedie to ale k nestabilnej prevádzke ventilu a celého systému.

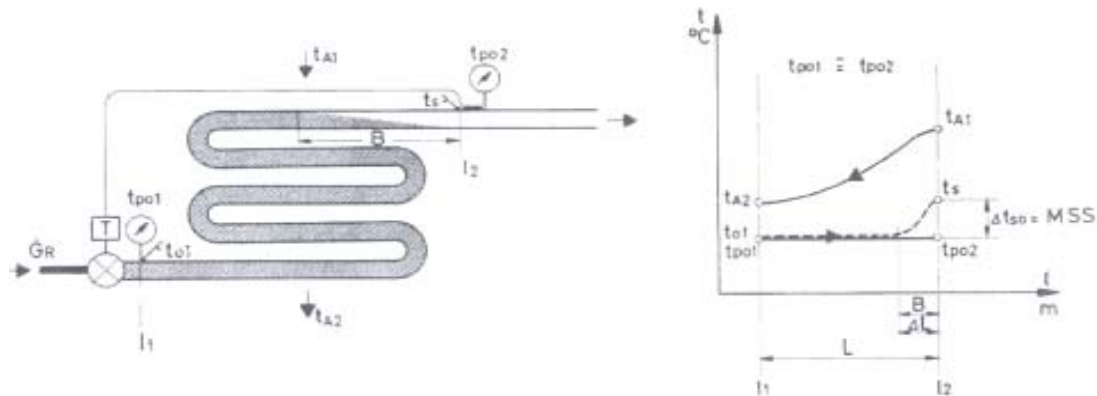
Z uvedeného je zrejmé, že je nutné udržať prehriatie chladiva na hodnote rovnej alebo mierne vyššej ako je MSS. Veľkosť MSS závisí od konštrukcie výparníka a na danom výparníku od okamžitého chladiaceho výkonu. S rastúcim prenášaným výkonom rastie tepelné zaťaženie teplo výmennej plochy, tým aj intenzita varu a hodnota MSS sa zväčšuje.

Hoci chladiace zariadenia a tepelné čerpadlá pracujú na princípe rovnakého tepelného obehu so zhodnými chladivami, v jednotlivých detailoch sa od seba významne líšia. Chladiace zariadenie je určené k ochladzovaniu látok väčšinou o konštantnej alebo málo premenlivej teplote a behom roka sa teplota varu chladiva mení len nepatrne. Významne sa menia len pomery na kondenzačnej strane v závislosti od meniacej sa teploty chladiacej látky. V tepelných čerpadlách systému vzduch – voda a vzduch – vzduch naopak behom roka vplyvom meniacej sa teploty zdroje nízkoenergetického tepla dochádza ku značnému kolísaniu výparnej teploty. Tým sa vo veľkom rozsahu mení aj chladiaci výkon kompresora nasávajúceho pary chladiva opúšťajúce výparník. Dochádza tak behom prevádzky tepelného čerpadla vo výparníku ku značnému kolísaniu prenášaného výkonu, zaťaženia teplo výmennej plochy a tým i ku zmene hodnoty MSS.

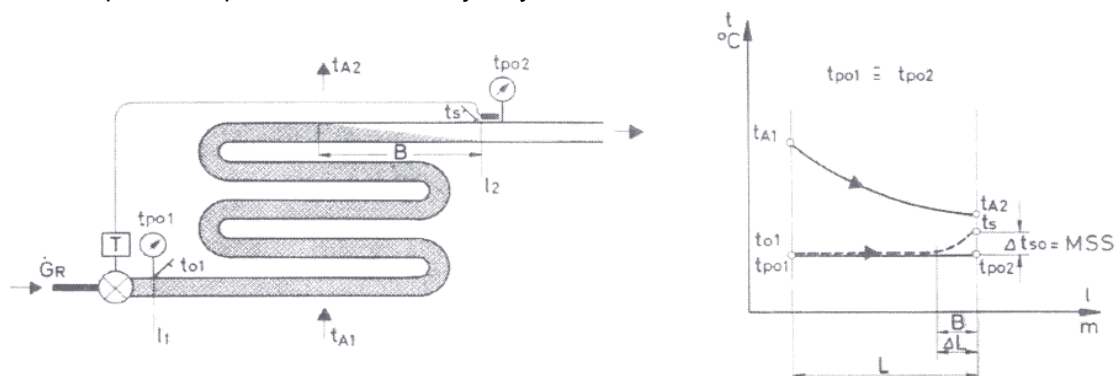


Obrázok 4 Závislosť MSS od chladiaceho výkonu Obrázok 5 Závislosť MSS od zmeny výparovacej teploty

Obrázok 4 znázorňuje závislosť MSS na chladiacom výkone pre konštantnú výparnú teplotu. Vyšrafovaná oblasť naľavo od krivky MSS predstavuje oblasť nestability prevádzky, oblasť vpravo je oblasť stabilnej prevádzky. S rastom prehriatia ale klesá využitie teplo výmennej plochy. Závislosť MSS pri klesajúcej výparnej teplote a konštantnej teplote kondenzačnej je na obrázku 5.

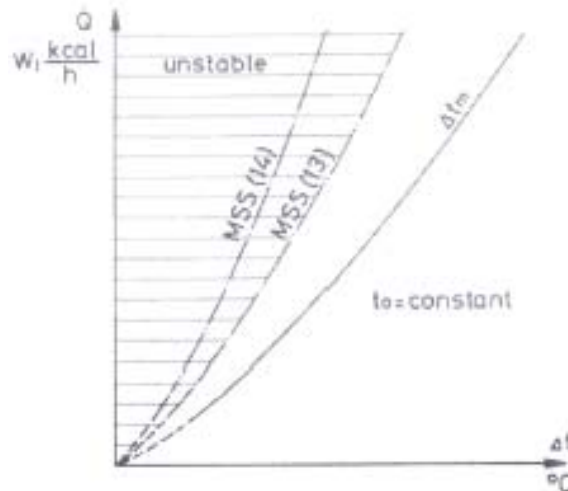


Obrázok 6 Protiprúdne usporiadanie chladenej látky a chladiva



Obrázok 7 Súprúdne usporiadanie chladenej látky a chladiva

Veľkosť MSS je ovplyvnená i vzájomným prúdením chladenej látky a chladiva. Obrázok 6 odpovedá protiprúdemu usporiadaniu s väčším MSS, obrázok 7 súprúdemu s menším MSS. Týmto usporiadaniam odpovedajúce hodnoty MSS a oblasti nestability sú uvedené na obrázku 8 (MSS(13) – protiprúd, MSS(14) – súprúd).



Obrázok 8 Závislosť MSS od chladiaceho výkonu pri proti a súprúdom usporiadaní chladenej látky a chladiva

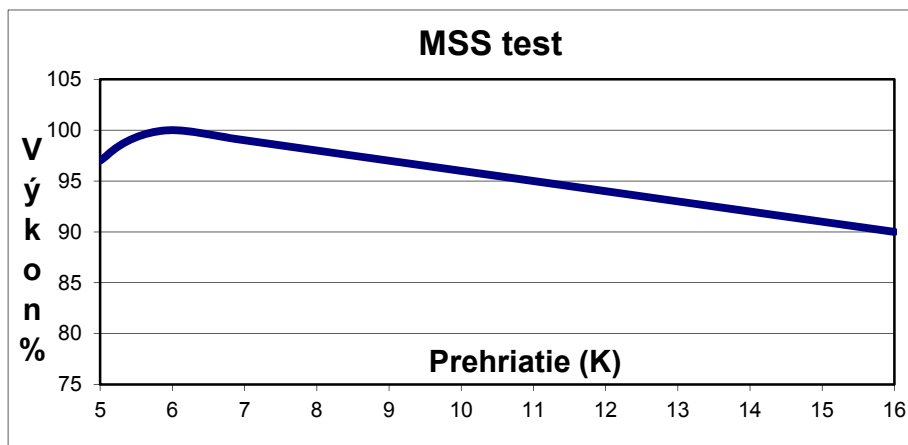
Ak prebieha vyparovanie chladiva vo vnútri rúrok, je treba počítať s tlakovou stratou výparníka na strane chladiva, ktorá rastie s rastúcim výkonom a klesajúcou teplotou vyparovania.

Výparník a termostatický expanzný ventil

V suchých výparníkoch sa chladivo vyparuje vo vnútri rúrok. Prívod chladiva do výparníka je riadený expanzným ventilom (EV), najčastejšie termostatickým (TEV) alebo elektronickým (EEV). Riadiacim signálom pre činnosť tohto ventilu je prehriatie pár chladiva na výstupe z výparníka. Ventil teda úzko spolupracuje s výparníkom a od tejto spolupráce závisí ako stabilita systému, tak i využitie teplo výmennej plochy výparníka.

Sústava výparník - termostatický expanzný ventil má svoju optimálnu hodnotu prehriatia (MSS), pri ktorej je regulácia stabilná a súčasne je výkon výparníka maximálny. Príklad tejto závislosti je graficky znázornený na obrázku 9.

Obrázok 9

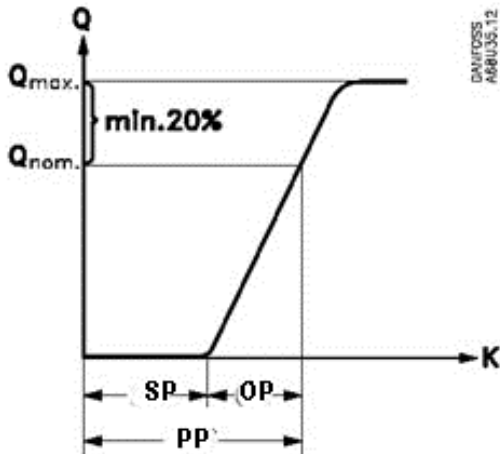


Termostatické expanzné ventily majú prehriatie nastavené z výroby, ktoré v praxi nemusí vždy zabezpečiť optimálne zaplavenie konkrétneho výparníka.

Podľa dokumentácie výrobcu termostatického expanzného ventilu je možné nastaviť optimálne statické prehriatie pre daný výparník. To však vyžaduje znalosti, zručnosť a čas. V praxi sa tak často vyskytujú chladiace zariadenia s prehriatím i vyšším ako 10 K, nájdu sa aj hodnoty blízke nule. Dôsledky takéhoto nastavenia znamenajú nebezpečie najmä v rozsiahlych inštaláciách moderných supermarketov s desiatkami rôznych chladených vitrín a pultov, kde sa v sacom potrubí hromadí kvapalné chladivo z niekoľko „prestrekujúcich“ ventilov. Pri dosiahnutí určitej rýchlosti pár, táto môže strhnúť kvapalné chladivo sebou do satia kompresora a!

Charakteristika TEV, tzn. závislosť jeho výkonu od prehriatia pár chladiva, je pre určitú konštantnú výparnú teplotu uvedená na obrázku 10. Výkonom TEV sa rozumie súčin hmotnostného prietoku a zmeny entalpie chladiva medzi výstupom a vstupom chladiva do výparníka. Na obrázku značí:

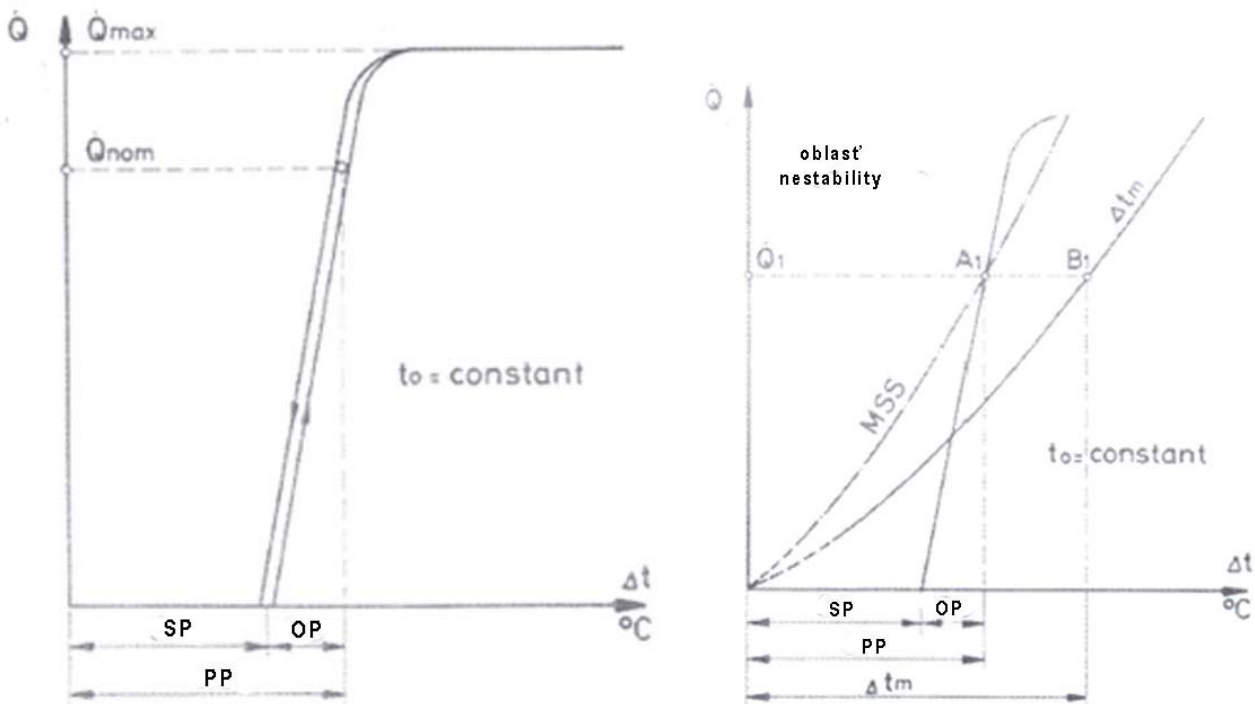
- SP statické prehriatie
- OP otváracie prehriatie
- PP = SP + OP = Δt_{so} pracovné prehriatie = prehriatie pár chladiva
- Q_{nom} menovitý výkon ventilu
- Q_{max} maximálny výkon ventilu



Obrázok 10 Výkon a prehriatie TEV pri $t_o = \text{konšt.}$

Statické prehriatie	SS = 5 K
Dynamické prehriatie	OS = 4 K
Prehriatie	SH = 5 + 4 = 9 K

Obrázky 11, 12 predstavujú ideálnu spoluprácu výparníka a TEV, kedy chladiaci výkon výparníka Q_1 je zhodný s výkonom TEV. Rovnováha sústavy výparník – TEV nastane v bode A_1 , ventil pracuje s pracovným prehriatím PP, rozdiel medzi chladenou látkou a vyparujúcim sa chladivom je cca $0,6 \Delta t_m$. Pretože bod A_1 leží na krivke MSS, teplo výmenná plocha výparníka je využitá v maximálnej možnej miere a systém pracuje stabilne.



Obrázok 11 Charakteristika TEV, tzn. závislosť jeho výkonu od prehriatia pár chladiva, pre určitú konštantnú výparnú teplotu

Obrázok 12 Ideálna spolupráca výparníka a TEV, kedy chladiaci výkon výparníka Q_1 je zhodný s výkonom TEV

Prehriatie

Rozdiel medzi teplotou chladiva na začiatku a na konci výparníka. Prehriatie je zabezpečené predpätím regulačnej pružiny. Chladivo teda opúšťa výparník s určitým prehriatím. To preto, aby sa s istotou odstránili všetky kvapalné časti chladiva (*vyparením*) nebezpečné pre kompresor. Termostatické expanzné ventily sú vždy nastavené príslušným výrobcom.

Toto optimálne nastavenie je možné regulovať (*neodporúča sa*), ale len s najväčšou pozornosťou a postupne. Po každom zásahu je nutné vyčkať na ustálenie prevádzkových pomerov ventilu.

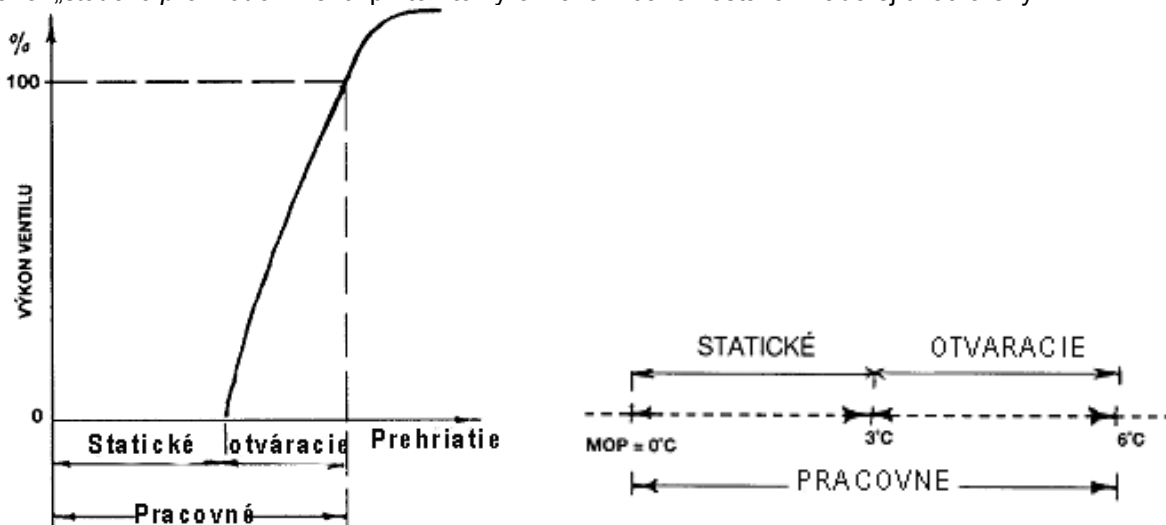
Stúpnutie prehriatia nad 7 °C v normálnej prevádzke znamená zníženie výkonu kompresora. Tovársky nastavené prehriatie má byť optimum, vyplývajúce z mnohých faktorov, ktoré vo väčšine prípadov pri servise je problém merať. Preto servis by sa mal vyvarovať nastavovaniu ventilov. Servis nemá predpoklady nastaviť lepšie podmienky práce TEV, než sú, avšak za predpokladu, že je zariadenie a ventil dobre navrhnutý. Vždy treba hľadať chybu mimo zoradenia ventilu – je to omnoho pravdepodobnejšie.

Pracovné prehriatie

Prehriatie merateľné na konci výparníka je súčtom prehriatia statického a otváracieho. Je označované ako prehriatie "*pracovné*". Výrobcom udávajú väčšinou len hodnotu statického prehriatia, a to bez udania bližších podmienok. Presnejší by bol údaj statického prehriatia ako funkcia výparnej teploty. Obvyklá hodnota statického prehriatia pri $t_0 = -6^\circ\text{C}$ je cca 3 K. Otváracie prehriatie sa potom, podľa typu ventilu, pohybuje v rozmedzí od 3 do 5 K a teoretická hodnota pracovného prehriatia je potom 6 až 8 K. Praktické hodnoty pracovného prehriatia sa pohybujú v rozmedzí od 6 do 9 K.

Prehriatie potrebné na kompenzáciu síl pôsobiacich na membránu („statické prehriatie“)

Aby tlaky (*sily*) pôsobiace na obe strany membrány expanzného ventilu boli rovnaké (*aby boli kompenzované*), musí sa o príslušnú hodnotu zvýšiť teplota termočlánku. A k tomu môže dôjsť jedine vtedy, keď o túto hodnotu stúpne teplota chladiva vystupujúceho z výparníka, tzn. keď z výparníka budú vystupovať pary chladiva majúce teplotu vyššiu než je teplota varu kvapalného chladiva pri danom tlaku vo výparníku - pary prehriatej. Toto zvýšenie teploty potrebné na kompenzáciu síl pôsobiacich na membránu označujeme ako: „*statické prehriatie*“. Ventil pri tomto vyrovnávaní tlakov ostáva i naďalej uzatvorený.



Obrázok 13 Statické + otváracie prehriatie = pracovné prehriatie

Prehriatie potrebné pre otvorenie ventilu („otváracie prehriatie“)

Statické prehriatie sa vzťahuje, teda k doposiaľ uzavretému ventilu, kedy kolík stále ešte pevne uzaviera sedlo. Pre otvorenie ventilu sa musí membrána, ktorá sa v tomto prípade chová rovnako ako pružina, príslušne deformovať (*prehnúť*) a zatlačiť na kolík. K tomu je potrebné ďalšieho zvýšenia tlaku v termočlánku (tzn. *Zvýšenie teploty termočlánku*). Toto „*ďalšie zvýšenie*“ je označované ako „*otváracie prehriatie*“.

Pretože na dosiahnutie konštantného zdvihu kolíka je v celom rozsahu výparných teplôt potrebné rovnaké zvýšenie tlaku v termočlánku, stretávame sa tu s ďalej vysvetlenou skutočnosťou zväčšujúcej sa hodnoty prehriatia pri znižovaní výparnej teploty a naopak.

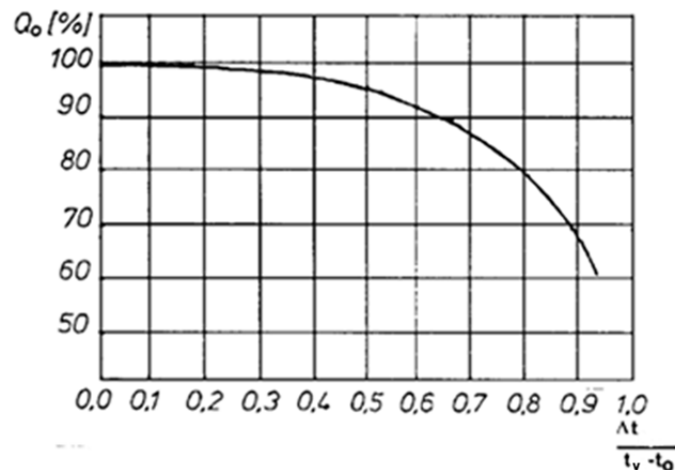
Optimálne prehriatie

Kompresor – výkon kompresora klesá so zvyšujúcim sa prehriatím. Množstvo tepla, ktoré výparník odvedie je i funkciou rozdielu teploty výparnej a chladeného prostredia Δt_m . Čím väčší je tento rozdiel, tým menšia je potrebná plocha výparníka k prehriatiu pár, na hodnotu potrebnú k správnej funkcii TEV.

Výparník – Obrázok znázorňuje priebeh výkonu výparníka Q_o pri stúpajúcom podiele prehriatia Δt na využiteľnej diferencii Δt_m :

$$\Delta t_m = t_{vzd} - t_o$$

kde: t_{vzd} = teplota vzduchu vstupujúceho do výparníka
 t_o = výparná teplota



Obrázok 14 Priebeh výkonu výparníka Q_o pri stúpajúcom podiele prehriatia Δt na využiteľnej diferencii Δt_m

Optimum {2} je dosahované keď:

Prehriatie $\Delta t = (0,6 \text{ až } 0,7) \times \Delta t_m$, to znamená $\Delta t = (0,6 \text{ až } 0,7) \times (t_{vzd} - t_o)$

Vtedy plocha potrebná k prehriatiu je cca 10 % z plochy výparníka.

Závislosť chladiaceho výkonu pri výmene chladiva

Možnosť nastavenia termostatického expanzného ventilu v existujúcom okruhu na tlaky nového chladiva zmenou predpätia regulačnej pružiny je obmedzená. Pri „otváraní“ ventilu sa prehriatie znižuje a pri „uzatváraní“ ventilu sa prehriatie zväčšuje. Rozpätie meniacej sa výparnej teploty je minimálne ($\pm 0,5$ K), teda takmer konštantná výparná teplota. Zmenou predpätia regulačnej pružiny sa ventil čiastočne dá nastaviť novým pracovným tlakom otáčaním regulačnej skrutky v rozsahu maximálne 1-2 otáčok.

Na hornú stranu membrány, tzn. v opačnom smere, pôsobí tlak vyvolávaný paralelnou náplňou termočlánku, tzn. p_t . Znamená to, že po naplnení napríklad chladivom R134a, ktoré pracuje s nižším výparným tlakom vo výparníku ako chladivo R12, je na otvorenie ventilu potrebný nižší tlak v termočlánku.

Expanzný ventil v takomto prípade pracuje s menším prehriatím. Pri použití chladiva pracujúceho s vyšším výparným tlakom je to naopak: ventil pracuje s väčším prehriatím.

Nastavovanie zmenou predpätia regulačnej pružiny

Z obrázku 15 vidieť, že otáčaním regulačnej skrutky doľava sa výparná teplota 05 znížila o 1°C a teplota na výtlaku kompresora 01 sa zvýšila o 5°C . Rovnako teplota 08 na saní kompresora sa prudko zvýšila o 8°C . Po troch otáčkach sa jej rast síce prudko znížil, ale veľké prehriatie pár spôsobilo zreteľný pokles chladiaceho výkonu a znížil sa hmotnostný prietok chladiva, čo spôsobilo nedostatočné chladenie elektromotora. Pri otáčaní regulačnej skrutky smerom doprava sa výparná teplota 05 zvýšila len nevýznamne o $0,5^\circ\text{C}$, ale teplota na saní kompresora - prehriatie pár sa prudko znížilo. Klesla i teplota na výtlaku kompresora 01. Nastal malý rast chladiaceho výkonu a zvýšil sa prietok chladiva. Hrozil však prienik kvapalného chladiva do kompresora, vzhľadom na žiadne respektívne minimálne prehriatie pár chladiva.

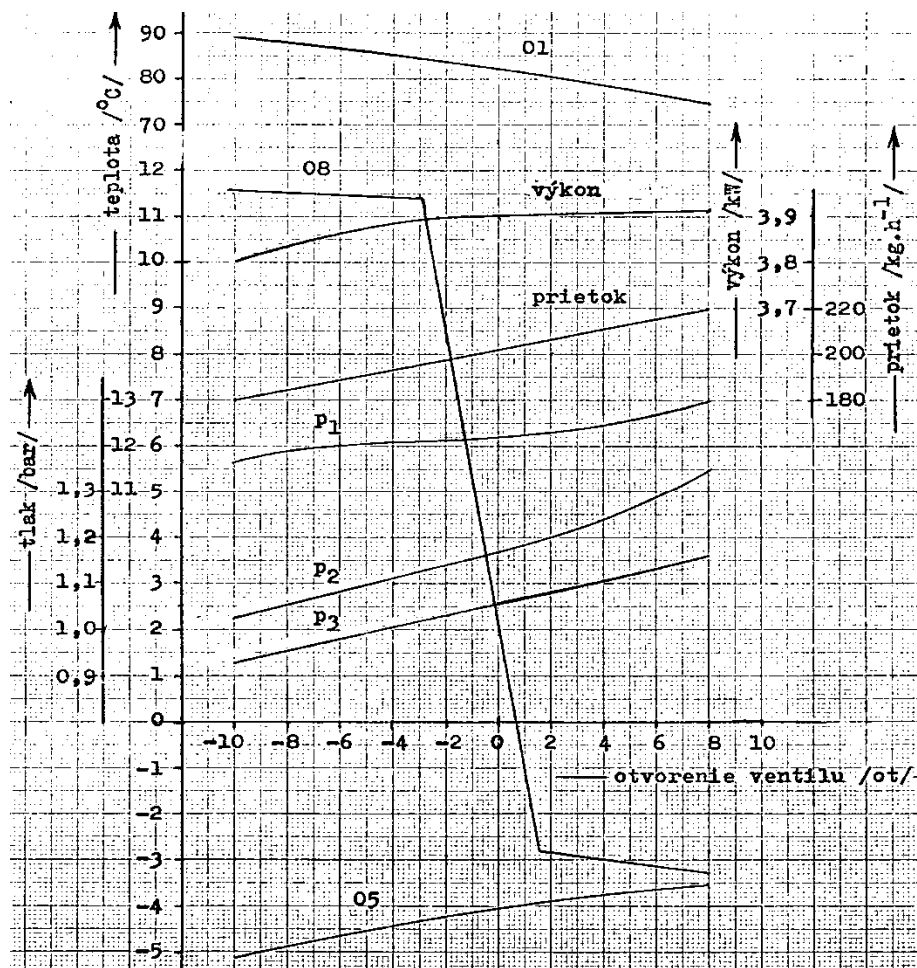
Nastavenie prehriatia na TEV s paralelnou náplňou možno odporučiť bez nebezpečenstva len v prípadoch takmer nemeniacej sa výparnej teploty. Výnimku tvoria okruhy s TEV s križujúcimi alebo adsorpčnými náplňami termočlánkov, ktoré sú určené pre viac druhov chladiva.

V prípade, že nastavenie vhodného prehriatia sa nepodarí, je treba TEV s paralelnou náplňou vymeniť za TEV pre nové chladivo.

Prejavy zmeny nastaveného prehriatia

Zmena nastaveného prehriatia v závislosti od zmeny výparnej teploty sa prejaví nasledovne:

- ◆ pri vyššej počiatkovej výparnej teplote bude hodnota prehriatia menšia a
- ◆ pri klesajúcej výparnej teplote sa hodnota nastaveného prehriatia zväčšuje.

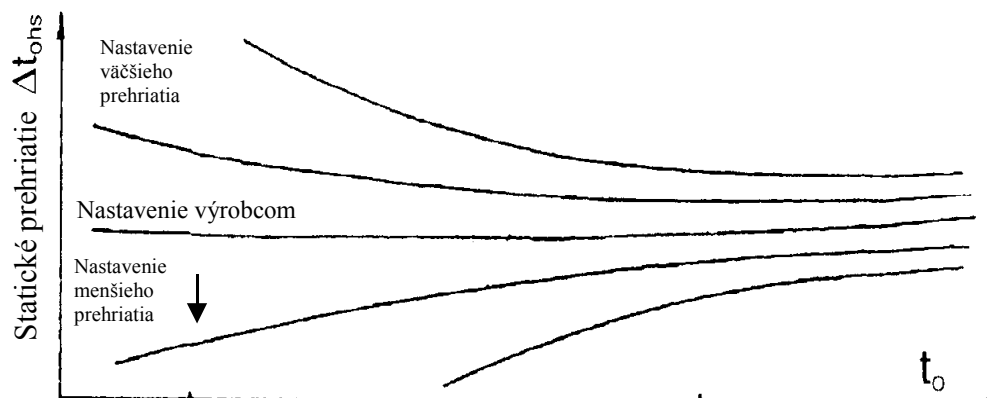


Obrázok 15 Namerané hodnoty s chladivom R134a pri zmene nastavenia expanzného ventilu otáčaním regulačnej skrutky na TEV určenom pre R12 s paralelnou náplňou

Zmena statického prehriatia

Z nasledujúceho obrázku názorne vyplýva, že zmena statického prehriatia nastaveného výrobcom, t.j. zmena sily regulačnej pružiny ventilu, spôsobuje väčšiu zmenu statického prehriatia v prípade nižších výparných teplôt.

Z popisu charakteristických vlastností látok používaných ako náplne termočlánkov vyplýva, že kvapalinové či plynové náplne, či už v prevedení paralelnom alebo križujúcom, majú charakteristickú vlastnosť prejavujúcu sa tým, že - zmena predpätia regulačnej pružiny spôsobuje väčšiu zmenu prehriatia v prípade podnulových výparných teplôt a menšiu zmenu v prípade nadnulových výparných teplôt - pozri obrázok 16.



Obrázok 16 Závislosti statického prehriatia od výparnej teploty pri zmene nastavenia regulačnej pružiny (zásah do hodnoty nastavenej výrobcom).

Pozor: Ak napríklad na zariadení s výparnou teplotou 0°C zmeníme prehriatie z 11 K na 6 K, potom až po dlhšej prevádzke dôjde s najväčšou pravdepodobnosťou ku zvýšeniu výparnej teploty a v dôsledku toho, ako vyplýva z predchádzajúceho, k ďalšiemu poklesu prehriatia, ktoré môže viesť k poškodeniu kompresora.

Dôležité je uvedomiť si, že už od samého začiatku, to znamená od výroby, bol TEV koncipovaný, nastavený s prehriatím "rozumne" malým.

Náplne a časová konštanta

Termočlánky TEV ventilov sú rôzne plnené. Každé zariadenie má svoju vlastnú časovú konštantu. Pod týmto pojmom rozumieme na termostatických expanzných ventiloch čas, ktorý daný ventil potrebuje pri určitej zmene teploty v termočlánku k dokončeniu zodpovedajúceho prestavania zdvihu ihly. Časová konštanta výparníka závisí od toho, aký dlhý čas potrebuje chladivo na prechod výparníkom. Týmto jednoduchými slovami je popísaný zložitý dej. (Najdôležitejšie faktory: dĺžka rúrok, výparníka, rýchlosť chladiva v rúrke a počet ohybov). Môžeme povedať, že vo výparníku s veľkou časovou konštantou by mal byť expanzný ventil tiež s veľkou časovou konštantou. Vráťme sa však k vlastným náplňiam.

- **Plynové plnenie** – má najmenšiu časovú konštantu. Pracovná látka je v týchto prípadoch plnená do vyteperovaného ventilu (termočlánku) v plynnom skupenstve. Veľkosť náplne je v porovnaní s kvapalinovými náplňami, nepatrná. Za prevádzky zariadenia kondenzuje v priestore termočlánku len niekoľko málo kubických milimetrov náplne a vytvára tak „ovládaci tlak“. Vzhľadom k malej hmotnosti pár je potrebné priviesť povrchom termočlánku len malé množstvo tepla. Z malej hmotnosti vyplýva i malý objem – preto sú termočlánky niekedy vytvorené len niekoľkými závitmi kapilárnej trubice. Tieto ventily reagujú i na podchladenie vlastnej kapilárnej trubice alebo telesa ventilu. (Konštrukciou je však dané, že toto ovplyvňovanie nie je väčšie než cca 10 %). Často sa do termočlánkov s plynovou náplňou pridáva ďalšia látka, ktorá ovplyvňuje správanie sa ventilu v tom zmysle, že tlmí (oneskoruje) reakciu ventilu pri oteplení termočlánku (oneskoruje teda otváranie ventilu) a naopak urýchľuje reakciu pri ochladení termočlánku (urýchľuje uzatváranie ventilu). Ľahko je možné vytvoriť ventily s MOP s obmedzenou náplňou termočlánku (angl. Maximum operation pressure).
- **Kvapalinové plnenie** – má väčšiu časovú konštantu než plynové. Expanzné ventily s kvapalinovou náplňou reagujú na zmeny teploty pár vystupujúcich z výparníkov pomaly (lenivo). Sú preto využívané najmä v prípadoch, kedy „teplotná zotrvačnosť“ nie je problém, alebo je dokonca vyžadovaná.
- **Absorpčné plnenie** – má najväčšiu časovú konštantu. Ventily s adsorpčnou náplňou sa chovajú podobne ako ventily s náplňou kvapalinovou. Existuje tzv. klasická a kombinovaná univerzálna adsorpčná náplň, ktorá v relatívne širokom rozsahu bežných výparných teplôt mení pracovné prehriatie termostatického expanzného ventilu čo najmenej. Kombinované adsorpčné náplne pre termočlánky sú dodávané a označované ako univerzálne, pre viacero druhov chladív. Prehriatie nad teplotou -5 °C stúpa, na rozdiel od plynovej a kvapalinovej náplne, čo je v mnohých prípadoch žiaduce – napríklad pri rozbehu.

Doporučené použitie náplní

Pri odmravovaní horúcimi parami chladiva alebo v zariadeniach so striedavou teplotou sa odporúča:

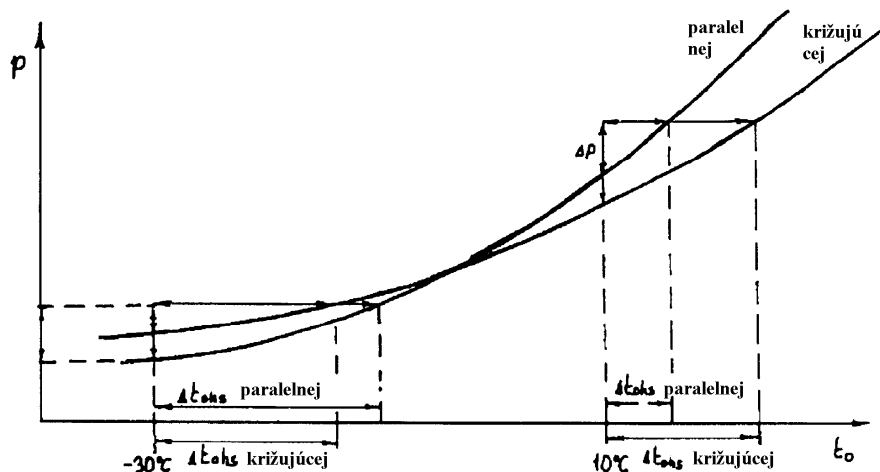
- plynová náplň (pre krátku časovú konštantu) alebo
- absorpčná (pre zvýšenie prehriatia pri vyšších výparných teplotách).

Paralelná a križujúca náplň termočlánku

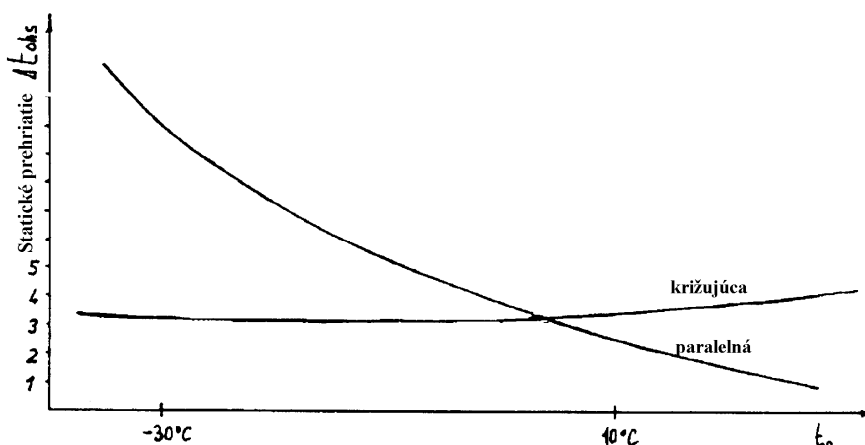
- **Paralelná náplň** - parná krivka (závislosť teploty varu na tlaku) paralelnej náplne (je zhodná s krivkou chladiva v okruhu). Pretože sila pružiny pôsobiacej na membránu zdola je pri všetkých výparných teplotách rovnaká, potom ku kompenzácii síl pôsobiacich na membránu je potrebné stále rovnakého zvýšenia tlaku v termočlánku - Δp . Z priebehu krivky vyplýva, že pri nízkych vyparovaných teplotách je pri kompenzácii sily pružiny (t.j. pre rovnaké zvýšenie tlaku v termočlánku) treba vyššieho prehriatia než pri výparných teplotách vyšších. Z toho vyplýva, že: v TEV s paralelnou náplňou sa so znižujúcou výparnou teplotou, pri rovnakom nastavení regulačnej pružiny, prehriatie pár vystupujúcich z výparníka zväčšuje.
- **Križujúca náplň** - od ideálneho termostatického expanzného ventilu však požadujeme udržanie konštantného prehriatia v celom rozsahu výparných teplôt. Náplň termočlánkov s plochou krivkou priebehu závislosti tlaku od teploty tak, aby táto krivka pretínala (križovala) obdobnú krivku daného chladiva v bode zodpovedajúcom výparnej teplote, s ktorou má TEV pracovať. Také náplne sú označované ako náplne "križujúce".

Nasledujúci obrázok 17 ozrejmuje priebeh závislosti tlaku od teploty „križujúcej“ a „paralelnej“ náplne vo väzbe na parnú krivku danej náplne termočlánku:

- ♦ pri nižších výparných teplotách (t.j. pri nižších teplotách termočlánku) je tlak v termočlánku s križujúcou náplňou vyšší než s náplňou paralelnou. Z tohto dôvodu je k vyvolaniu kompenzačnej sily potrebné menšieho stúpania teploty termočlánku, tzn. je potrebné menšieho prehriatia pár vystupujúcich z výparníka. Statické prehriatie križujúcej náplne je pri nízkych výparných teplotách nižšie ako pri použití náplní paralelných,
- ♦ pri vyšších výparných teplotách je tomu naopak, statické prehriatie križujúcej náplne je pri vyšších výparných teplotách vyššie ako pri použití náplní paralelných.



Obrázok 17 Porovnanie závislosti tlaku od teploty varu náplne paralelnej a náplne križujúcej



Obrázok 18 Porovnanie závislosti statického prehriatia od teploty termočlánku (od výparnej teploty) náplne paralelnej a vhodne zvolenej náplne križujúcej

Vhodnou voľbou „križujúcej“ náplne a správnej polohy bodu prekríženia krivky chladiva a náplne je potom možné dosiahnuť takej závislosti prehriatia od výparnej teploty, že jej priebeh je prakticky konštantný, ako je znázornené na obrázku.

Ventil konštantného tlaku

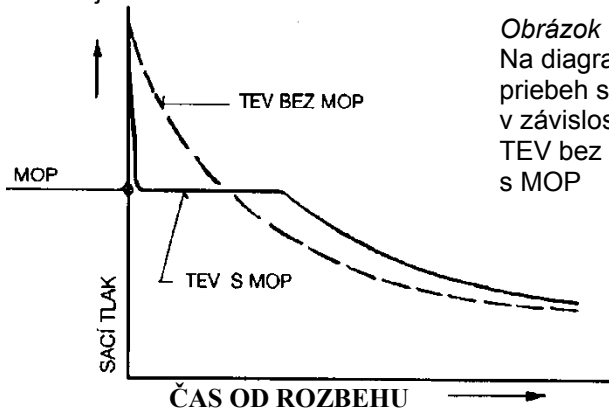
Existujú prípady, kedy sa zariadenie rozbieha z teplého stavu a je zároveň už tepelne zaťažené. V týchto prípadoch by bežný termostatický ventil nastavil – vplyvom ohriatia termočlánku – príliš veľkú výparnú teplotu (napr. + 20 °C). Preto je nutné do okruhu za výparník zamontovať pomocný regulačný ventil stálega tlaku, pracujúcom na princípe redukčného ventilu. Do sania kompresoru prepúšťa ventil len toľko chladiva, aby tlak v sacom hrdle kompresoru bol konštantný. Takéto usporiadanie nie je príliš vhodné, pretože zvyšuje nadobúdacie a prevádzkové náklady a je možným zdrojom porúch. Preto boli vyvinuté ventily s obmedzením sacieho tlaku, ktoré odstraňujú tieto nevýhody.

Termostatické expanzné ventily s MOP (s obmedzením sacieho tlaku) sa od bežných ventilov líšia teda len úpravou náplne termočlánku, nie sú od nich na prvý pohľad rozpoznateľné a väčšinou sa nelíšia ani cenovo. Sú označené, väčšinou na štítku ventilu, skratkou MOP a príslušnou maximálnou hodnotou sacieho tlaku (napr. MOP 3,1).

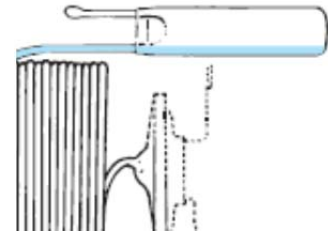
Ventily s obmedzením sacieho tlaku M.O.P

Sú prípady, kedy potrebuje obmedzený pracovný rozsah termostatického expanzného ventilu. Menovite sací tlak nesmie stúpať nad určitú hranicu (*po roztápaní, pri zabehu, po oprave ...*).

V tomto prípade používame termostatické expanzné ventily s MOP. Tieto ventily majú náplň termočlánku upravenú tak, že po ohriatí na určitú teplotu prestane tlak v termočlánku stúpať. Prevládne teda tlak vo výparníku pôsobiaci na spodnej strane membrány, ktorý ventil uzavrie. V praxi tento ventil prestane nastrekovať chladivo – zavrie – a čaká až kompresor odsaje toľko pár, aby jeho elektromotor nebol preťažovaný. Po poklese tlaku vo výparníku – ventil začína opäť nastrekovať. Takúto reguláciu je vidieť aj na nasledujúcom obrázku.



Obrázok 19
Na diagrame je znázornený priebeh sacieho tlaku v závislosti od času a to pre TEV bez MOP a pre TEV s MOP



Obrázok 20
MOP ventil musí byť na teplejšom mieste ako termočlánok, inak by jeho náplň migrovala

MOP="Maximum Operating Pressure". Sú to TEV, limitujúce (*obmedzujúce*) výparný tlak určitou maximálnou hodnotou. Ich funkcia je teda obdobná regulátoru rozbehu. So zvyšujúcim sa tepelným zaťažením výparníku sa zvyšuje i výparná teplota a spolu s tým i teplota termočlánku. TEV s MOP majú termočlánky plnené plynom a to v takom množstve, ktoré zaručuje, že pri danej, vopred definovanej teplote, je všetka náplň termočlánku v plynnom skupenstve (*že sa vyparili všetky kvapky náplne v termočlánku*). Z tohto dôvodu dochádza i pri ďalšom zvyšovaní teploty termočlánku k zvyšovaniu tlaku v termočlánku už len nepatrne a ventil sa už preto viac neotvára a do výparníka nie je nastrekovaného viac chladiva. Ďalší nárast výparnej teploty sa zastavuje, dochádza len ku zvyšovaniu teploty pár vystupujúcich z výparníka - zvyšuje sa prehriatie. Pri 6°C je náplň termočlánku úplne vyparená. Tomuto stavu zodpovedajúca výparná teplota je teda o hodnotu statického prehriatia a otváracieho prehriatia - teda o hodnotu pracovného prehriatia - nižšia. Dôsledky pre prax:

- ◆ pri zväčšení hodnoty statického prehriatia sa o rovnakú hodnotu zníži MOP (pozri obrázok).
- ◆ pri zdvihu kolíka ventilu menšom než je hodnota menovitá (napr. z dôvodu predimenzovania ventilu) sa zmenší hodnota otváracieho prehriatia a v súlade s tým sa zvýši hodnota MOP.

ODPORUČENIE: Normálne pracovné podmienky chladiaceho zariadenia (výparníka) by sa mali približovať hodnote MOP na menej ako 5 K (tzn., že pracovná hodnota výparnej teploty by mala byť aspoň o 5 K nižšia než MOP použitého ventilu). **VOĽBA HODNOTY MOP:** Nesmie byť vyššia ako je maximálne prípustná hodnota sacieho tlaku pre daný kompresor.

Vnútorne a vonkajšie vyrovnanie tlaku

Na obrázku 23 bude vysvetlená funkcia TEV s vonkajším vyrovnaním tlaku: tlak na výstupe z výparníka pôsobí cez vyrovnávacie potrubie na spodnú stranu membrány. Prehriatie je teda riadené a regulované v závislosti od tlaku na konci výparníka.

V TEV s vnútorným vyrovnávaním tlakov je vŕtaním v medzistene privádzaný pod membránu výstupný tlak z TEV. V porovnaní s tlakom na konci výparníka je tento tlak vyšší o :

- ◆ tlakovú stratu výparníka (0,3 až 0,7 bar),
- ◆ tlakovou stratou rozdeľovača chladiva (na rozdeľovačoch pracujúcich na princípe Venturiho trubice je to cca 0,5 až 1 bar, na ostatných typoch rozdeľovačov až 3,5 bar).

Taký ventil teda reguluje prehriatie v závislosti od tohto vyššieho tlaku - prehriatie je teda vyššie o hodnotu zodpovedajúcu rozdielu tlaku na začiatku a na konci výparníka - pozri obrázok 21.

ODPORUČENIE: Vo všetkých prípadoch použitia rozdeľovača chladiva, MUSÍ byť použitý TEV s vonkajším vyrovnávaním tlakov. Vo všetkých prípadoch, kde je chladiaci výkon väčší než 1 kW, alebo kde je výparná teplota nižšia než -10°C, je použitie TEV s vonkajším vyrovnávaním tlakov žiaduce.

PRÍKLAD: chladivo R22, $t_0 = -20^\circ\text{C}$, tlaková strata výparníka 0,3 bar. Tlakovej strate 0,3 bar pri teplote -20°C, zodpovedá v prípade chladiva R22, rozdiel teplôt cca 3 K. V prípade, že bude použitý ventil s vnútorným vyrovnávaním tlakov to znamená, že zariadenie bude pracovať s prehriatím o 3 K vyšším.

Automatické a termostatické expanzné ventily

Druhy expanzných ventilov

V chladiacom okruhu, pracujúcom na parnom princípe, umožňuje expanzný orgán zmenu stavu chladiva, najmä izoentálpickú zmenu jeho tlaku. Je preto označovaný tiež ako orgán škrtiaci. U prvých chladiacich zariadeniach bolo používané ručných škrtiacich ventilov, neskôr potom automatických expanzných ventilov. Ďalším druhom expanzných ventilov sú termostatické expanzné ventily. Expanzná kapilára je doposiaľ v niektorých prípadoch používaná predovšetkým z dôvodov nízkych obstarávacích nákladov. Termostatické expanzné ventily sú trvalo zdokonaľované, vyvíjané a v súčasnosti sú najrozšírenejšími expanznými orgánmi. Existujú konštrukcie termostatických expanzných ventilov s vymeniteľnými dýzami, oddeliteľnou ovládacou hlavou s membránou a tiež elektromagnetických elektronicke riadených mikroprocesorom respektíve s ihlou ovládanou krokovým elektromotorom.

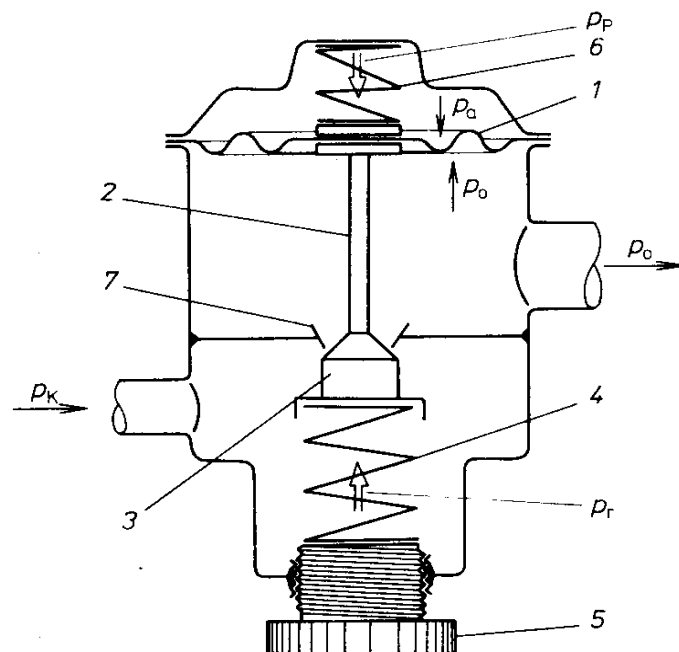
Postupujúci vývoj so sebou prináša požiadavky na malé teplotné spády vo výmenníkoch, najmä vo výparníkoch. Nevyhnutnými sa preto stávajú termostatické expanzné ventily schopné pracovať s malým prehriatím. Len málo klasických termostatických expanzných ventilov je schopných plniť tieto požiadavky. Elektronické expanzné ventily umožňujú prehriatie znižovať a proporcionálne otvoreniu prepočítať prietok chladiva.

Automatické expanzné ventily

Ich typickým znakom je, že majú len jeden riadiaci signál a to tlak vyparujúceho sa chladiva na začiatku výparníka. Tieto ventily udržiavajú tlak vo výparníku na vopred nastavenej hodnote, nezávisle od okolitých podmienok. To znamená, že nezaručujú úplné zaplavenie výparníka pri meniacej sa tepelnej záťaži a teplote okolia. Používajú sa v lacnejších zariadeniach menších výkonov tam, kde hospodárnosť prevádzky nie je významná. Nemožno ich používať v zariadeniach s niekoľkými paralelnými výparníkmi a podobne. V súčasných požiadavkách na energetickú efektívnosť sa od ich používania ustúpilo.

Pracujú na princípe tlakového redukčného ventilu, to znamená, že udržiavajú tlak na výstupe z ventilu vo výparníku na vopred nastavenej konštantnej hodnote, nezávisle od ostatných podmienok. Tieto ventily automaticky uzatvárajú prívod ďalšieho kvapalného chladiva do výparníka pri stúpnutí tlaku na začiatku výparníka nad hodnotu, na ktorú je ventil nastavený. Ovládací prvok ventilu je membrána (*vlnovec*), vystavená z jednej strany atmosférickému tlaku vzduchu - p_a a tlaku pomocnej pružiny - p_p , ktorý je nastavený pri výrobe ventilu. Obe tieto sily pôsobia zhodne zhora nadol. Oproti pôsobí na membránu výparný tlak chladiva vo výparníku - p_o a tlak regulačnej pružiny - p_r .

Podľa veľkosti zhodne pôsobiacich súčtových síl, to znamená $p_a + p_p$ v jednom smere a $p_o + p_r$ v smere opačnom sa membrána prehýba v smere väčšej z týchto síl. Tak napríklad stúpne tlak vo výparníku - p_o , potom sa membrána prehne smerom hore. Smerom hore sa posunie aj kolík 2 a pružina 4 zdvihne ihlu 3, ktorá dosadne do sedla dýzy 7 a uzavrie sa prietok chladiva do výparníka. Nastavením regulačnej pružiny je určený výparný tlak, pri ktorom je rovnováha síl a chladivo prúdi do výparníku. Pokiaľ tlak vo výparníku stúpne nad nastavenú hodnotu, ihla privrie alebo uzavrie prietok chladiva. Ventil potom čaká, kým kompresor odsaje výparník na tlak nastavený regulačnou pružinou a opäť potvára prietok chladiva.



Obrázok 21 Schéma automatického expanzného ventilu

Legenda: 1 - membrána, 2 - kolík ihly,

3 - ihla, 4 - regulačná pružina,

5 - regulačná skrútka,

6 - pomocná pružina,

7 - sedlo (dýza),

p_p - tlak regulačnej pružiny,

p_a - atmosférický tlak,

p_r - tlak regulačnej pružiny

Vlastnosti a použitie automatických expanzných ventilov

Z uvedeného vyplýva, že automatické expanzné ventily v dôsledku konštrukčne udržiavaného vyparovacího tlaku daného predpätím regulačnej pružiny, prepúšťajú stále rovnaké množstvo chladiva bez ohľadu:

- ◆ na zmenu tepelného zaťaženia chladeného priestoru,
- ◆ na veľkosť zaplavenej plochy výparníka, ktorá s klesajúcou teplotou chladeného priestoru narastá, a preto neumožňujú:

1. využitie plného chladiaceho výkonu v závislosti od tepelného zaťaženia výparníka,
2. tlakové ovládanie prevádzky zariadenia,
3. použitie niekoľkých ventilov v jednom okruhu paralelne zapojených,
4. použitie v zariadení pracujúcim s niekoľkými priestormi s rozličnými teplotnými požiadavkami.

K riadeniu teploty chladeného priestoru sa môže použiť výparníkový termostat. Nepoužíva sa presostat alebo priestorový termostat.

Nastavenie sa robí najviac o 1/4 otáčky regulačnej skrutky. S ďalším zásahom sa čaká až do ustálenia chodu chladiaceho zariadenia.

TEV - termostatické expanzné ventily

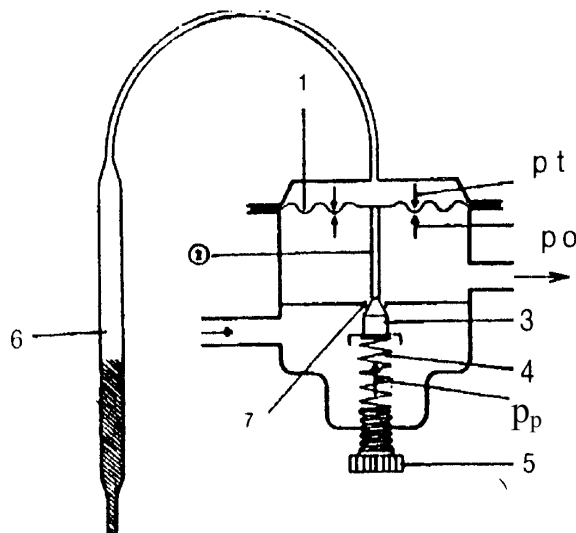
Tieto ventily sa veľmi podobajú automatickým expanzným ventilom s tou výnimkou, že sila jednej pružiny je nahradená pôsobením tlaku p_t na membránu (obrázok 21 a 22). Tento tlak je vyvedený termostatickým článkom, skladajúcim sa z termočlánku, kapilárnej trubice a priestoru v hlave ventilu uzavretom membránou.

Obrázok 22

Termostatický expanzný ventil

- 1 - membrána
- 2 - ovládací kolík
- 3 - ihla
- 4 - pružina
- 5 - regulačná skrutka
- 6 - termočlánok s kapilárnou trubicou
- 7 - dýza

- p_t - tlak z termočlánku
 p_o - sací tlak
 p_p - tlak regulačnej pružiny



Funkcia ventilu je riadená tlakom na začiatku výparníka a tlakom v termočlánku, ktorý je pripevnený sponou na výstupe z výparníka (s dobrým tepelným prechodom). Vplyvom zmien teplôt sacieho potrubia sa menia i teploty v termočlánku.

Riadiacim orgánom je membrána. Na hornú stranu membrány pôsobí tlak p_t z termočlánku a na spodnej výparný tlak chladiva p_o na počiatku výparníka (spodná strana membrány je prepojená s výstupom ventilu) spolu s regulačnou pružinou.

Tlak vyparujúceho sa chladiva p_o závisí od teploty vo výparníku. Tlak v termočlánku p_t je funkciou jeho teploty. Rozdiel tlakov p_o a p_t zodpovedá teda rozdielu teploty v mieste, kde je pripevnený termočlánok a teploty chladiva na začiatku výparníka.

Tomuto rozdielu teplôt sa hovorí prehriatie.

Ak je toto prehriatie menšie než je nastavené regulačnou pružinou, ventil priviera. Ak je naopak prehriatie vyššie, ventil sa trochu pootvorí, a to tak, aby sa čo najlepšie využilo teplovýmenné plochy výparníka.

Týmto ventilom sa hovorí termostatické expanzné ventily s vnútorným vyrovnaním tlaku.

Zdvih kolíku a teda i výkon ventilu sa zväčšuje úmerne (proporcionálne) s tlakom v termočlánku (so stúpaním teploty v termočlánku). TEV je teda proporcionálnym regulátorom. Pri zmene zaťaženia sa preto mení prehriatie, spolu so zdvihom kolíku. Z toho vyplýva i regulačná odchýlka charakteristická pre všetky proporcionálne regulátory. Ako bude vysvetlené ďalej, nie je táto skutočnosť nedostatkom TEV.

Termostatické ventily s vonkajším vyrovnávaním tlaku

Doposiaľ sme predpokladali, že pod membránou ventilu je výparný tlak a na ventile nastavené prehriatie sa vzťahuje k tomuto tlaku. Pri prietoku chladiva výparníkom vzniká určitý prietokový odpor, o ktorý je tlak pod membránou ventilu väčší než tlak na konci výparníka, kde sa termočlánkom meria prehriatie. Ak sa má ventil otvoriť, musí sa nastavené prehriatie vzťahovať na tlak pod membránou ventilu. Prehriatie vzťahované na tlak na konci výparníka potom bude vyššie. To sa prejaví zmenšením zaplavovanej plochy výparníka, pretože potrebujeme časť jeho plochy na väčšie prehriatie pár chladiva.

Tam, kde má prietokový odpor výparníka hodnotu, ktorú nie je možné zanedbať (viac než cca 0,02 MPa) používa sa termostatického expanzného ventilu s vonkajším vyrovnávaním tlaku.

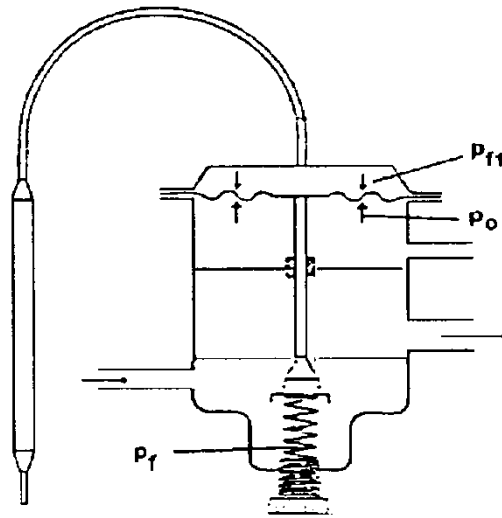
Priestor pod membránou je utesnený a do tohto priestoru sa zavádza tlak z konca výparníka (pozri obrázok 23). Týmto je eliminovaný prietokový odpor výparníka. Použitie tohto ventilu je tiež nevyhnutné pri použití rozdeľovača chladiva.

Obrázok 23

TEV s vonkajším vyrovnávaním tlaku

TEV upravený o prívod tlaku z konca výparníka, (ktorý je nižší ako tlak na začiatku výparníka, o tlakové straty rozdeľovača, výparníka) pod membránu ventilu.

Neodporúča sa nastavovať prehriatie v TEV s vonkajším vyrovnávaním tlaku, pretože tlaková strata výparníka je už vykompenzovaná.



Potrubie vonkajšieho vyrovnávania tlaku

By malo byť prevedené prednostne rúrkou o priemere 6 mm. Vedená musí byť tak, aby sa ňou do TEV nemohol dostať ani olej, ani kvapalné chladivo.

Dôvody: zmena tlaku vo vyrovnávacom potrubí o cca 0,5 bar vyvolá zmenu zdvihu kolíka - teda zmenu výkonu ventilu.

Vznik námrazy alebo kondenzácie vlhkosti na vyrovnávacom potrubí signalizuje poškodenie utesnenia „kolíka“ regulovaného membránou. V takom prípade musí byť TEV vymenený.

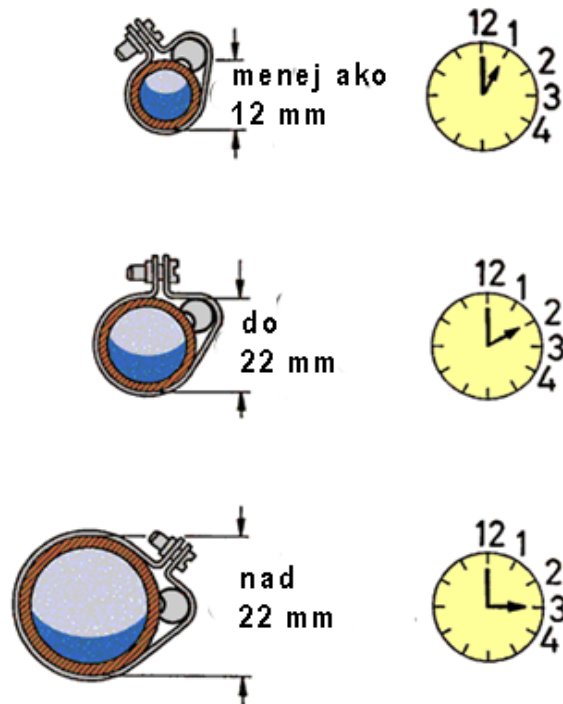
4.4 Umiestnenie termočlánku

Od umiestnenia termočlánku závisia pracovné podmienky expanzného ventilu a tým i pracovné podmienky kondenzačnej jednotky. Preto je nutné venovať uchyteniu a umiestneniu termočlánku dostatočnú pozornosť. Pozri nasledujúce body.

- 1 Uchytenie termočlánku robiť zásadne originálnym pripojením pomocou spôn dodávaných s ventilom a spojenie dostatočne utiahnuť. (V opačnom prípade je zhoršený prechod tepla do termočlánku a ventil nastrekuje viac chladiva než zodpovedá nastavenému prehriatiu – pretože termočlánok je teplejší).
- 2 Neodporúča sa montáž na oblúky scieho potrubia, pretože termočlánok potom má väčšinou bodový styk a ten je nedostatočný z hľadiska prechodu tepla do termočlánku.
- 3 Pri montáži na zvislé potrubie musí chladivo bezpodmienečne prúdiť zhora dole. Nie však obrátene. (Strhávanie chladiva a oleja smerom hore po zaplnení trubky – rázy v prúde).
- 4 Termočlánok a potrubie vonkajšieho vyrovnávania tlakov NESMIE byť - a to zásadne - umiestnený za „sifónmi“ zaisťujúce vracanie oleja, a ani v ich blízkosti. Pokiaľ je nutné umiestniť termočlánok pred stúpajúce potrubie – je nutné urobiť pred stúpajúcim potrubím sifón. Zhromažďí sa tu olej a chladivo v dobe státia zariadenia. Po spustení potom neovplyvnia termočlánok ventilu.
- 5 Termočlánok má byť pripevnený pred vnútorný výmenník tepla.
- 6 Termočlánok je vhodné alebo nutné izolovať v týchto prípadoch :
 - pri montáži mimo chladený priestor,
 - vo vzduchových výparníkoch protiprúdových, kde termočlánok je montovaný na vstupe relatívne teplého vzduchu. Tu je vhodné izolovať i časť sacej rúrky ofukovanej ventilátorom.

- 7 Na ventiloch s vonkajším vyrovnávaním tlaku je nutné montovať termočlánok pred toto vyrovnanie. Pri eventúálnej netesnosti upchávky horného priestoru TEV by termočlánok bol ovplyvňovaný prechádzajúcim chladivom do výparníku.
- 8 Pre termočlánok musíme nájsť miesto, kde sa v perióde kľudu zariadenie neohreje o viac než 7 °C (podľa typu ventilu) nad teplotu výparníka, aby bola záruka, že dôjde k dokonalému zavretiu ventilu. Inak je bezpodmienečne nutné zabudovať do kvapalinového potrubia solenoidový ventil.

Prax potvrdzuje, že najlepšie je umiestniť termočlánok: na sacích potrubíach do priemeru 22 mm hore (do 14,00 hod.), na sacích potrubíach väčších priemerov v mieste zodpovedajúcom polohe hodinových ručičiek po 14,00 hod.



Obrázok 24

Kontrola správnej funkcie TEV

Pretože TEV je prístrojom regulujúcim prehriatie, môžeme sa o jeho správnej funkcii presvedčiť jedine presným zmeraním tohto prehriatia. V žiadnom prípade nie je možné správnu či nesprávnu funkciu TEV posudzovať z takých príznakov, akými sú: nedokonale omrznutý výparník, omrznutý kompresor, kvapkajúce sacie potrubie atď. Meranie prehriatia poskytne objektívne hodnoty jedine vtedy, keď do ventilu vstupuje chladivo bez parných bublínok, teda chladivo aspoň mierne podchladené. I nepatrné parné bublinky podstatným spôsobom ovplyvňujú výkon ventilu, je nutné si predstaviť, že medzera medzi sedlom a ihlou TEV je pravidelne len niekoľko desiatín mm a i malá parná bublinka takú medzeru prakticky „upcháva“.

Meranie prehriatia

Pri meraní prehriatia musí byť povrch výparníka čistý – bez námrazy.

Meranie tlaku

Pre tieto účely musí byť použitý tlakomer triedy presnosti 1. Je nutné mať na pamäti, že taký manometer môže nešetrný úder úplne znehodnotiť. Tlak je potrebné merať na konci výparníka, pokiaľ možno v bezprostrednej blízkosti termočlánku. Z parnej tabuľky príslušného chladiva sa potom odpočíta takto nameranému tlaku zodpovedajúca t_0 (pokiaľ manometer nemá taktiež teplotnú stupnicu).

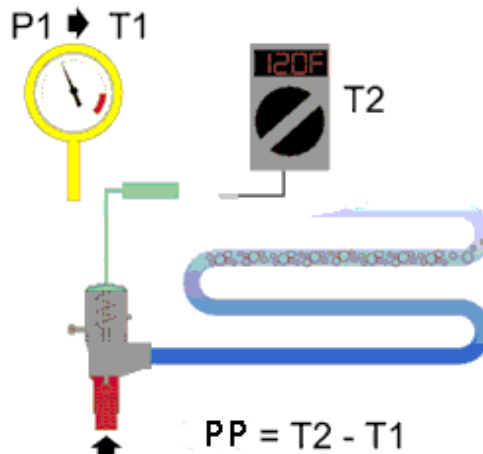
Meranie teploty

Pre meranie je možné použiť akéhokoľvek dotykového teplomeru schopného merať s presnosťou $\pm 0,5$ K. Príležitostne je potrebné jeho presnosť preskúšať zmeraním teploty dokonale premiešanej zmesi vody s ľadom. Meranie je smerodajné jedine vtedy, ak je vykonané na izolovanom potrubí, aby sonda nebola ovplyvňovaná teplotou okolitého prostredia (pri nedodržaní tejto zásady môže chyba dosiahnuť hodnoty až 5K). Meriame opäť v bezprostrednej blízkosti termočlánku a v rovnakej polohe ako je usadený termočlánok. Pre priloženie teplomeru sa odporúča použiť teplotne vodivej pasty. Od takto nameranej teploty odpočítame výparnú teplotu. Výsledná hodnota je pracovné prehriatie TEV.

Meranie pri nestabilnej teplote sacieho potrubia

Pokiaľ je v takom prípade výkon ventilu v poriadku, a ventil je i správne namontovaný, je potrebné postupne a veľmi mierne zvyšovať prehriatie. Po každom takom zvýšení prehriatia je potrebné, bezpochyby najskôr o 10 minút, vykonať znovu meranie.

Týmto spôsobom znovu nastavené zvýšené prehriatie, eventuálneho použitia TEV s MOP, prinesie prakticky vo všetkých prípadoch pozitívny výsledok.



Obrázok 25 Pracovné prehriatie sa rovná rozdielu teplôt pod termočlánkom a teploty výparnej

Poruchy expanzných ventilov

Expanzné ventily sú najobvyklejšími prietokovými regulačnými prístrojmi, a preto tiež ich poruchy sú najbežnejšie.

1. Pretože TEV je prístrojom regulujúcim prehriatie, môžeme sa o jeho správnej funkcii presvedčiť jedine presným zmeraním tohto prehriatia. V žiadnom prípade nie je možné správnu či nesprávnu funkciu TEV posudzovať z takých príznakov, akými sú: nedokonale omrznutý výparník, omrznutý kompresor, kvapkajúce sacie potrubie atď.
 2. Meranie prehriatia poskytne objektívne hodnoty jedine vtedy, keď do ventilu vstupuje chladivo bez parných bubliniek, teda chladivo aspoň mierne podchladené. I nepatrné parné bublinky podstatným spôsobom ovplyvňujú výkon ventilu, je nutné si predstaviť, že medzera medzi sedlom a ihlou TEV je pravidelne len niekoľko desiatín mm a i malá parná bublinka takú medzeru prakticky „upchá“.
 3. Zamŕzanie dýzy - keď chladivo obsahuje viac vlhkosti, pretože pokles chladiva na výparnú teplotu nastáva práve v dýze ventilu. Tu voda vymŕza a vzniknutý ľad upchá prietok chladiva dýzou. Po roztopení ľadu ventil je opäť priechodný.
 4. Upchatie ventilu - aj v teplom stave býva spôsobené pevnými nečistotami vo vstupnom sítku. Čiastočné upchatie sa prejaví omŕzaním vstupného filtra, pretože expanzia nastáva už na vstupnom sítku. Sítka treba vyčistiť.
 5. Namŕzanie membrány (*vlnovca*) - skondenzovaná vzdušná vlhkosť postupne vymŕza na povrchu membrány a znemožňuje jej správnu funkciu. To sa prejaví pomalou reakciou ventilu. Ventil pri stúpaní tlaku vo výparníku pomaly uzatvára, často až po roztopení výparníka. Takýto ventil treba vymeniť.
 6. Prepúšťanie chladiva - do výparníka aj po odstavení zariadenia sa prejavuje rýchlo stúpajúcim tlakom na saciej strane kompresora. To svedčí o netesnosti dýzy a ihly. Ventil treba vymeniť.
 7. Prasknutá membrána - chladivo uniká. Treba vymeniť ventil.
- **Netesnosť sedla a ihly expanzného ventilu**
 - V expanzných ventiloch, ktoré sú niekoľko rokov v prevádzke, sa objavuje netesnosť sedla a ihly následkom mechanického opotrebenia alebo narušenia koróziou alebo eróziou. Ak je sedlo alebo ihla ventilu opotrebené, ventil neuzatvára a v dobe kľudu kompresoru preteká väčšie alebo menšie množstvo chladiva z kondenzátoru do výparníka. Táto porucha sa prejavuje po zastavení kompresoru rýchlym rastom tlaku vo výparníku. Po spustení kompresoru sa sacie potrubie a často i skriňa kompresoru sa pokryje inováťou. Olej v skrini kompresoru sa silne spení, kompresor túto penu nasáva, niekedy za vzniku kvapalinových rázov. To môže viesť i k havárii kompresoru, k zničeným ventilom, alebo zadretiu následkom nedostatku oleja v skrini kompresoru. Ako je vidieť, táto porucha expanzného ventilu môže mať pre kompresor vážne následky a ventil musí byť čo najskôr vymenený.

- **Netesnosť krycej matice alebo skrutky automatického expanzného ventilu**
 - Prístup k skrutke, ktorou sa nastavuje výparný tlak, je zakrytý a utesnený maticou alebo skrutkou, ktoré majú zamedziť prístup atmosférického vzduchu nad membránu. Ak nie je ich tesnosť dokonalá, tento priestor je spojený s atmosférou a membrána potom funguje pri práci ventilu ako čerpadlo. Vzduch sa do tohto priestoru sriedavo nasáva a z neho vytlačuje. Pritom vlhkosť obsiahnutá vo vzduchu kondenzuje a kondenzát sa v tomto priestore hromadí. Mimo to vlhkosť do tohto priestoru vniká i difúziou a pri výparných teplotách pod 0 °C tam zmrzne.
 - Vonkajšie prejavy tejto poruchy môžu byť veľmi rôznorodé. Námraza, ktorá vznikla, keď bo ventil otvorený, zachytí membránu s deformáciou, zodpovedajúcou tomuto stavu ventilu a prístroj sa chová ako netesný. Po ohriati ventilu sa námraza roztopí a ventil sa opäť uzavrie. Ak je ventil namontovaný v polohe, pri ktorej sa v ňom udržuje kvapalné chladivo, po spustení kompresoru sa toto chladivo rýchlo odparí a pritom voda, ktorá je na opačnej strane membrány, zamrzne a udržuje ventil v uzavretej polohe. Po odsatí tohto chladiva z priestoru ventilu a po jeho ohriatí sa prístroj opäť otvorí. Túto poruchu je možné odstrániť vypláchnutím priestoru nad pružným členom prístroja alkoholom a vysušením.
- **Prasknutie membrány automatického expanzného ventilu**
 - Po dlhej prevádzke prístroja môže jeho pružný člen prasknúť následkom únavy materiálu. Toto namáhanie je najvyššie u prístrojov chladiacich zariadení, pracujúcich s vysokými výparnými teplotami. Ventil potom nezatvára, chladivo preteká po zastavení kompresoru do výparníku a ďalej do kompresoru. Porucha sa prejavuje omrzaním skrine kompresoru. O tom, že ide o túto poruchu, je možné ľahko sa presvedčiť po odskrutkovaní krycej matice nastavovacej skrutky indikačnou lampou.
- **Únik náplne článku termostatického expanzného ventilu**
 - Termočlánky termostatických expanzných ventilov sú najchúlostivejšími a najporuchovejšími dielmi týchto prístrojov. Majú náplň, ktorej množstvo má v termočládkoch s adsorpčným plnením a v článkoch s obmedzenou náplňou (*M.O.P*) zásadný funkčný význam a akýkoľvek únik mení vlastnosti prístroja.
 - V termočládkoch s adsorpčnou náplňou sa pri čiastočnom úniku náplne nastavené prehriatie zväčšuje v celom pracovnom rozsahu výparných teplôt. V termočládkoch s obmedzenou náplňou sa bod *M.O.P.* postupne znižuje, výparná teplota, pri ktorej ešte pracujú normálne, stále klesá a pri vyšších výparných teplotách sú uzavreté.
 - Prístroje s kvapalinovou náplňou termostatického článku síce majú určitú rezervu náplne, avšak pri poklese tejto náplne pod určitú hodnotu sa i tieto prístroje správajú rovnako ako predchádzajúce a pri ďalšom úniku sú úplne uzavreté.
 - K pozvoľnému úniku náplne termostatických článkov dochádza pri pórovitosti ktorejkoľvek časti článku. Tá sa môže vyskytnúť v mieste spájkovania i v materiáli stien kapilárnej rúrky a termočlánku, alebo v materiáli membrány. Mechanické namáhanie časti termostatického článku vibráciami býva príčinou rýchlej deštrukcie článku, úniku náplne.
 - Po dlhej dobe prevádzky môže dôjsť k prasknutiu membrány únavou materiálu. Navonok sa táto porucha prejaví rovnako ako predchádzajúce, ventil je uzavretý.

Parametre mechanických a elektronických expanzných ventilov v celoročnej prevádzke

Regulačné možnosti TEV sú závislosťou udržiavaného prehriatia od otvorenia ventilu. Konštrukčné riešenie TEV určuje statické prehriatie a závislosť otváracieho (*a pracovného*) prehriatia od otvorenia ventilu. Výrobcovia uvádzajú, že TEV sú schopné regulovať do cca 30 % otvorenia ventilu. Tomu odpovedá z hľadiska funkcie určité, minimálne nutné pracovné prehriatie – **minimálne pracovné prehriatie**. Tak by mal byť TEV nastavený z výroby.

Pri zmene nastavenia sa mení (*znižuje/zvyšuje*) statické prehriatie a charakteristika ventilu sa posúva tak, že minimálne otvorenie, kedy TEV ešte reaguje na zmenu pracovného prehriatia, tzn. kedy reálne prehriatie je väčšie ako minimálne pracovné prehriatie – sa tiež mení (*zvyšuje/znižuje*).

Pokiaľ sa TEV pri určitom aktuálnom stave ventilu nastaví na takmer minimálne pracovné prehriatie, potom pri zmene stavu, kedy by TEV mal nastaviť nový „*požadovaný stav*“, a k takému nastaveniu nepríde, potom TEV je už „*pod medzou citlivosti*“. Ak „*reálne*“ otvorenie TEV je väčšie než „*požadované*“, TEV nereguluje, prepúšťa neregulované väčšie množstvo chladiva ako je potrebné, okruh pracuje s minimálnym až nulovým prehriatím, eventuálne až s mokrymi parami.

Nastavenie ventilu na minimálne prehriatie a overenie funkcie ventilu by sa malo vykonať pri extrémnych podmienkach pre ktoré je TEV určený. Mala by byť známa charakteristika ventilu – regulačné možnosti a možnosti jeho nastavenia.

V súčasnej dobe sú k dispozícii popri mechanických termostatických expanzných ventiloch (TEV) i elektronické expanzné ventily (EEV). Je dôležité vedieť, či použitie drahších EEV môže zaistiť zvýšenie energetického efektu. EEV sú práve tak proporcionálne regulátory ako TEV, takže riadenie ventilu podľa

prehriatia prebieha na oboch ventiloch principiálne zhodným spôsobom. S tým rozdielom, že regulačná sila je v TEV vyvodená mechanicky – limitovaným rozdielom tlakov indikujúcich prehriatie, a v EEV je vyvodená elektrickým pohonom – krokovým motorom alebo pulzne. A je to práve iný spôsob pohonu, ktorý umožňuje ventilom EEV zvládnuť väčší rozsah výkonov, pretože regulačná sila nie je limitovaná ani veľkosťou ani rýchlosťou a teda nie je závislá od zmien výparnej a kondenzačnej teploty.

Je potrebné si uvedomiť napríklad podstatný rozdiel medzi pracovnými podmienkami TČ „vzduch–voda“ a štandardných chladiacich zariadení (CHZ) pracujúcich v chladiarňach (CH) alebo mraziarňach (M), prípadne iných chladiacich zariadeniach s celoročnou prevádzkou:

- v TČ „vzduch–voda“ sa s poklesom vonkajšej teploty znižuje výparná teplota, ale súčasne sa zvyšuje aj kondenzačná teplota (pri štandardnej ekvitermnej regulácii);
- v klasických CHZ, ktoré väčšinou pracujú so stálou výparnou teplotou, sa pri poklese vonkajšej teploty táto teplota príliš nemení, ale kondenzačná teplota – pri použití vzduchom chladených kondenzátorov – má naopak prirodzenú tendenciu klesať!

Tým je daný podstatný rozdiel priebehu pracovných podmienok, ovplyvňujúcich funkciu a parametre expanzných ventilov (EV) v priebehu roku a najmä v období s nízkymi až extrémne nízkymi vonkajšími teplotami vzduchu. Pre funkciu EV je rozhodujúcim ukazovateľom tlakový rozdiel na ventile, ktorý je primárne určený rozdielom medzi kondenzačným a výparným tlakom $\Delta p = p_k - p_o$. Prietok chladiva ventilom je priamo úmerný odmocnine tlakového rozdielu.

Kontrola využitia TEV je dôležitá najmä v prípadoch, kedy sa vonkajšie podmienky v priebehu roka výrazne menia a je potrebné skontrolovať výkon ventilu pri extrémnych kondenzačných a výparných teplotách napríklad s poklesom vonkajšej teploty:

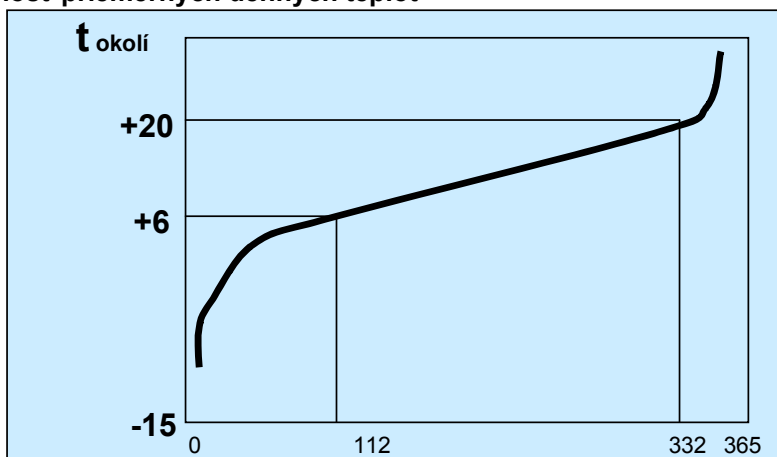
- v CHZ so vzduchom chladeným kondenzátorom sa tlakový rozdiel Δp znižuje, požadovaný chladiaci výkon EV sa však nemení,
- v TČ vzduch–voda sa tlakový rozdiel naopak Δp zväčšuje a hoci chladiaci výkon klesá, EV musí privierať.

Z uvedeného vyplýva, že TEV treba skontrolovať, či sú schopné zaistiť požadovaný výkon najmä v CHZ pracujúcich celoročne (kapitola 5 a 7.2). Ak nie je výhodné použiť EEV, ktoré dodávajú chladivo do výparníka dostatočne i pri znižovaní kondenzačného tlaku a prinášajú tak energetický efekt.

7.3.2.1 Voľba medzi TEV a EEV

EEV umožňujú optimálne využitie výparníka už pri tlakovom rozdieli (bez tlakových strát) 2 bary. TEV pracujú s nastaviteľným statickým prehriatím 3-5 °C a EEV s celkovým prehriatím 3 a viac °C. Referenčné prehriatie na EEV je porovnávané s okamžitým a upravované tak, aby MSS bol stabilný. Kondenzačná teplota chladiaceho zariadenia, ktoré pracuje s termostatickým expanzným ventilom, by nemala byť nižšia ako 25 – 30 °C, ale často sa pohybuje i nad 40°C. TEV je zvyčajne dimenzovaný podľa letných prevádzkových pomerov. Ak zvolíme termostatický expanzný ventil podľa nižšej kondenzačnej teploty, ktorá odpovedá zimnému obdobiu, potom v lete pri zníženom chladiacom výkone kompresora a zvýšenom prietoku chladiva ventilom prichádza k nestabilnej a nehospodárnej prevádzke. Ak sa môže kondenzačná teplota znížiť v lete napríklad sprchovaním kondenzátora, potom je možné ušetriť značné množstvo energie. Je to preto, lebo väčšia roka je priemerná denná teplota nižšia než 20 °C (pozri obrázok 26) Použitím elektronického expanzného ventilu je možné i pri kondenzačnej teplote 15 °C (tzn. pri teplote okolia 5 až 6°C) dosiahnuť dostatočné zaplavenie výparníka.

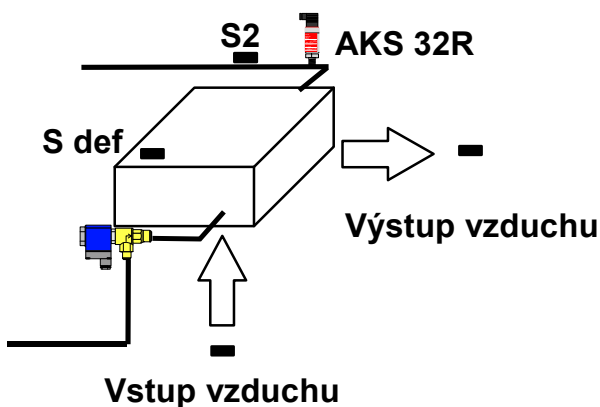
Obrázok 26 Početnosť priemerných denných teplôt



Zavedenie regulácie elektronickým expanzným ventilom napríklad s premenlivou šírkou impulzu optimalizuje zaplavenie výparníka a významne znižuje potrebný kondenzačný tlak, čo okrem úspory energie znamená i zníženie hlučnosti zariadenia a významné zvýšenie životnosti kompresorov. Má však ešte ďalšie výhodné vlastnosti, ktoré v dobe prechodu na iné chladiva sú stále dôležitejšie. Táto regulácia nie je závislá od druhu chladiva (*zatiaľ čo každý TEV je vyrobený len pre jedno určité chladivo a určitý rozsah teplôt, ev. konkrétne MOP, ak má fungovať optimálne*). V regulátoroch elektronických expanzných ventilov je možné nastaviť vlastnosti chladiva. Regulátor je potom schopný nájsť a udržovať optimálnu prevádzku sústavy výparník - expanzný ventil. Rozdiely v regulácii MSS na TEV a EEV vyplývajú z obrázkov 28 a 29.

Elektronické expanzné ventily

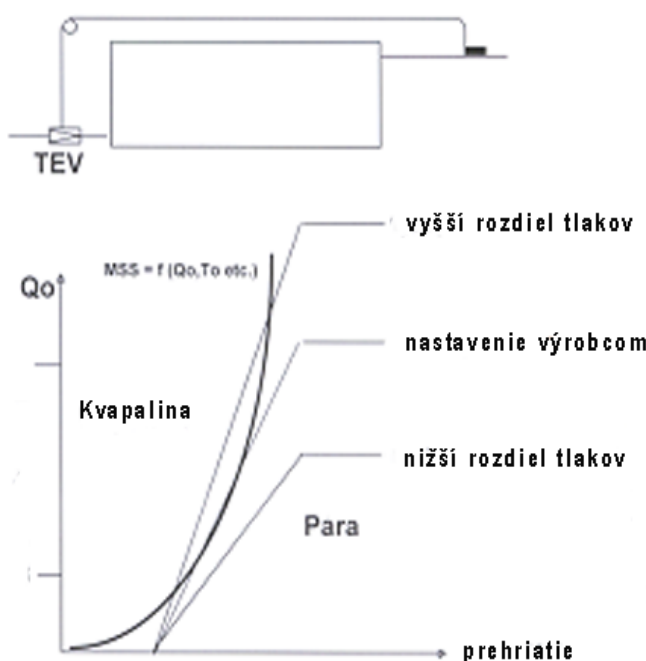
Pri použití elektronického expanzného ventilu nastavuje regulátor optimálne prehriatie podľa meniacich sa prevádzkových podmienok (obrázok 26). Tým zabezpečí na jednej strane optimálne zaplavenie výparníka a na druhej strane nepripustí, aby sa kvapalné chladivo dostalo za výparník a do satia kompresora. To je možné preto, že v prípade použitia elektronického regulátora sa získavajú merané údaje, ktoré dobre charakterizujú každý výparník. Napríklad, regulátor na obrázku 27 sleduje 5 teplôt a otvorenie expanzného ventilu (v %), a tiež čas prevádzky.



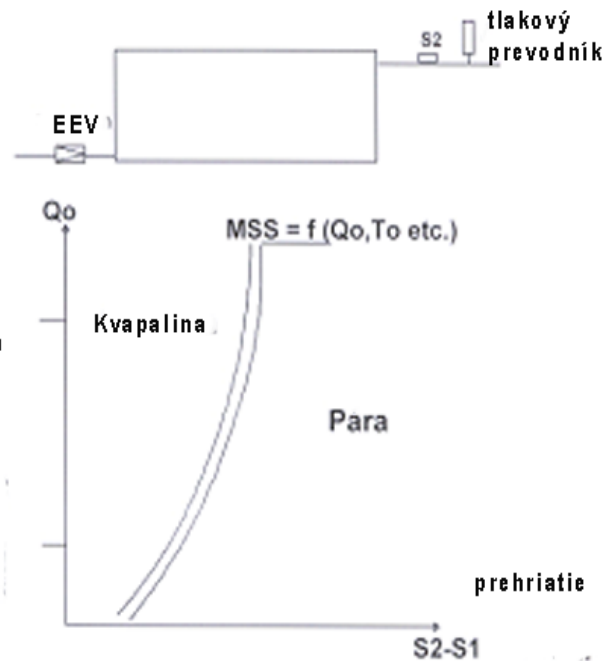
Obrázok 27

Merané hodnoty pre riadenie prehriatia EEV

- S1 [°C] = výparná teplota
- S2 [°C] = teplota pár chladiva na konci výparníka
- S3 [°C] = teplota vzduchu na vstupe do výparníka
- S4 [°C] = teplota vzduchu na výstupe z výparníka
- S5 [°C] = povrchová teplota výparníka.



Obr. 28 TEV – MSS a regulácia prehriatia



Obr. 29 EEV – MSS a regulácia prehriatie

Na obrázkoch 28 a 29 je vidieť rozdiely v ovládaní a vo veľkosti prehriatia na TEV a EEV voči MSS pri zmene chladiaceho výkonu.

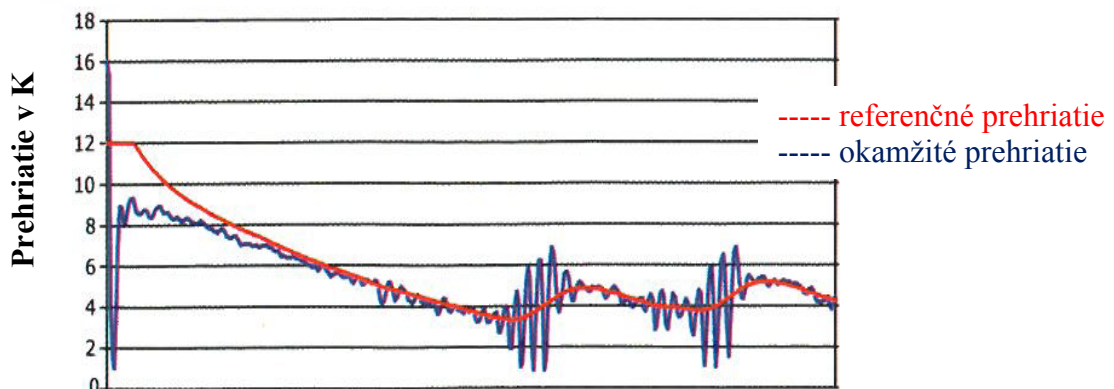
- Prehriatie s EEV kopíruje priebeh MSS pri zmene chladiaceho výkonu.
- Pri zmene rozdielu tlakov v TEV (*nad a pod membránou*) sa mení aj veľkosť prehriatia (*TEV je vyrobený pre jedno určité chladivo a určitý rozsah teplôt*).

Najväčšia časť energie sa spotrebováva na pohon kompresorov a pokiaľ chceme znížiť ich spotrebu, musíme zvýšiť výkonové číslo. To sa dá dosiahnuť znížením kondenzačnej teploty a zvýšením vyparovacej teploty. Kľúčovým prvkom, ktorý tento pohyb kondenzačnej a vyparovacej teploty umožňuje, je elektronicky ovládaný expanzný ventil. Úlohou expanzného ventilu je vstrekať do výparníka správne množstvo chladiva pri rôznom prevádzkovom zaťažení. Expanzný ventil zabezpečuje, že sa vo výparníku všetko chladivo odparí, a že jeho pary majú pri opustení výparníka určité presne určené prehriatie. Toto prehriatie zaisťuje, že teplovýmenná plocha je optimálne využitá a zároveň že žiadna kvapalina nemôže byť nasatá kompresorom.

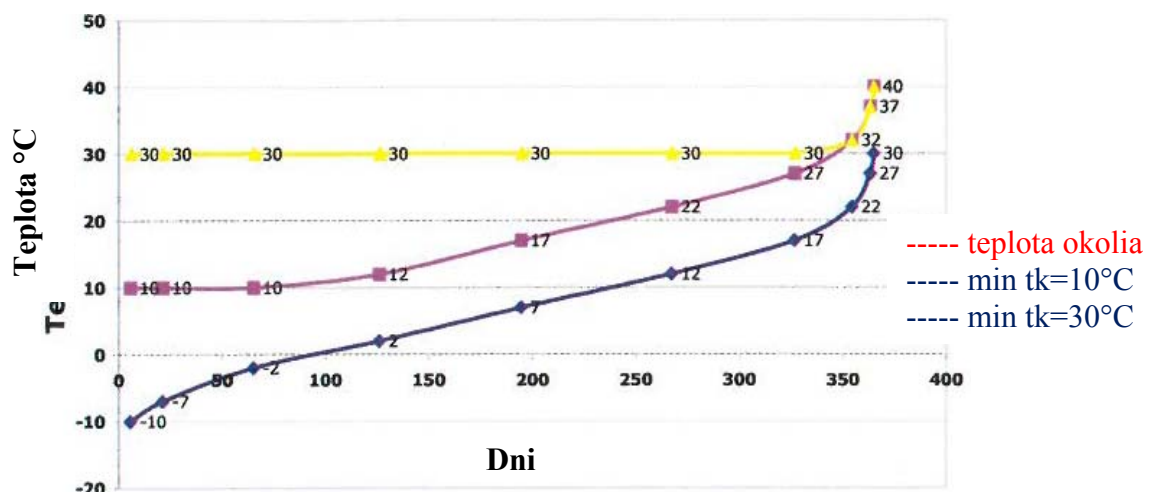
Termostatický expanzný ventil (TEV) je navrhnutý pre jedno konkrétne chladivo. TEV je P (proporcionálny) – regulátor, čo znamená, že miera otvorenia ventilu je priamo úmerná prehriatiu chladiva na výstupe z výparníka (obrázok č. 28). Oproti tomu elektronický expanzný ventil (EEV) v spojení s príslušným regulátorom pracuje ako PI regulátor, ktorého parametre integračné a proporcionálne zložky sa sami nastavujú podľa aktuálnych prevádzkových podmienok (obrázok č. 29). V praxi to znamená, že EEV sa dokáže prispôbiť zmenám podchladenia chladiva na vstupe do výparníka, zmenám kondenzačného tlaku a nájsť hodnotu minimálneho stabilného prehriatia výparníka. Elektronický expanzný ventil dokáže pracovať s nižším prehriatím na výparníku a tým lepšie využiť jeho plochu.

Prehriatie je znižované pokiaľ signál nezačne byť nestabilný takzvané pokiaľ sa neobjavia kvapky chladiva na výstupe výparníka a výparník je využitý naplno. Ako je vidieť na obrázku č. 30 dokáže EEV vďaka adaptívnej regulácii prehriatie pracovať s hodnotou prehriatia 5 K (i nižšou), čo je hodnota, ktorá zodpovedá statickému prehriatiu u TEV (obrázok č. 28).

Ďalšou výhodou EEV je jeho schopnosť pracovať s malým tlakovým spádom vo ventile už od hodnoty 2 bary. V praxi to znamená, že pri zohľadnení strát v potrubí a rozdeľovači chladiva môže byť pri vyparovacej teplote -10°C kondenzačná teplota $+10^{\circ}\text{C}$. Oproti tomu praktická minimálna hranica kondenzačnej jednotky pre TEV je okolo 30°C . Na grafe popisujúcom rozloženie teplôt behom roka je vidieť, že pre väčšinu roka zariadenie s TEV pracuje so zbytočne vysokou kondenzačnou teplotou (obrázok č. 31). Úspory dosahované plávajúcou kondenzačnou teplotou môžu byť aj do 10 %.



Obrázok 30



Obrázok 31

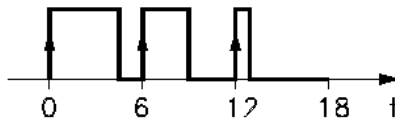
Nastaviteľné parametre

Regulátor spracováva všetky teploty regulovaného výparníka a stanovuje referenčný signál optimálneho prehriatia, ktorý sa porovnáva s okamžitou hodnotou prehriatia a expanzný ventil buď otvára alebo zatvára. Pomocou EEV je možné dosiahnuť optimálne zaplavenie výparníka pri takmer všetkých prevádzkových stavoch. S EEV s adaptívnym algoritmom riadenia dosiahnuť až 10 % úspory energie. Adaptívna regulácia (tj. systém, ktorý sa sám učí) umožňuje, aby sa prívod chladiva do výparníka prispôbil odlišným vlastnostiam jednotlivých výparníkov. Samotný hlavný regulátor, ktorý riadi prívod chladiva, je pritom typu PI alebo PID. Používajú sa dva druhy EEV:

1. Pulzné
2. S pohonom ihly krokovým elektromotorom

Pulzné EEV

Zvláštny typ elektronických expanzných ventilov je tzv. ventil s premennou šírkou impulzu. Je to v podstate špeciálny elektromagnetický ventil, ktorého konštrukcia je znázornená na obrázku 32. Princíp funkcie je rovnaký, rozdiely sú vo veľkosti a výkone. Pracujú tak, že v určitom časovom intervale (väčšinou 6 sekúnd sa tvoria a začnú nastrekovať chladivo do výparníka.



Obrázok 32

Čas nástreku závisí od výkonu výparníka a je vždy kratší, maximálne sa rovná uvedenému časovému intervalu. Menovitý výkon EEV je udaný pri trvalom otvorení a teda na rozdiel od TEV nemôže pracovať s väčším výkonom, než ako je menovitý. Pokiaľ nie je cievka ventilu pod prúdom (zastavenie kompresora, výpadok elektrickej energie), ventil je uzatvorený. Preto nie je potrebné pred EEV ponontovať uzatvárací elektromagnetický ventil, ako sa to robí pred TEV. EEV sa vyrábajú aj do výkonov cca 500 kW.

Regulátor EEV umožňuje:

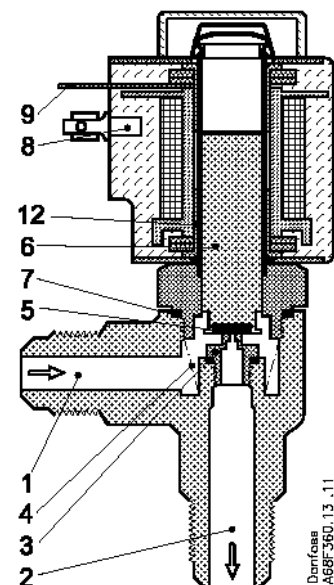
- Nastaviť statické prehriatie v širokom rozsahu 1 až 12 K
- Nastaviť celkové prehriatie v závislosti od výkonu výparníka pomocou troch hodnôt:
 - Statické prehriatie – zatváracie
 - Prehriatie pri výkone 10 %
 - Prehriatie pri výkone 100 %
- Na rozdiel od TEV, kde závislosť dynamického prehriatia medzi výkonom výparníka od 0 po 100 % je lineárna, dynamické prehriatie EEV je prezentované lomenou čiarou od od 0 po 10 % a 10 % až 100 % výkonu, čo umožňuje pri meniacom sa výkone lepšie sledovať MSS použitého výparníka.
- Riadiť prehriatie chladiva v závislosti od zaťaženia výparníka hľadaním jeho MSS. Toto riadenie sa dá popísať tak, že po spustení chladiaceho zariadenia ventil začne pracovať s vysokým prehriatím, ktoré sa následne znižuje až po dosiahnutie MSS výparníka.
- Pôsobiť ako obmedzovač vyparovacieho tlaku (funkcia MOP u TEV),
- Pomocou analógového výstupu (0-20 mA alebo 4-20 mA) meniť nastavenie prehriatia.
- Pomocou analógového výstupu (0-20 mA alebo 4-20 mA) získať informácie o prehriati, otvorení ventilu (proporcionálne o prietoku chladiva) a teplote vzduchu.

Nevýhody:

1. EEV nemôže pracovať ako TEV. K prevádzke potrebuje regulátor, teplotné a tlakové senzory. Cena EEV je síce porovnateľná s TEV, ale potrebné komponenty cenu výrazne navyšujú. Ak jeden regulátor riadi dva EEV, cena je priaznivejšia.
2. K využitiu všetkých výhod EEV a regulátora sú potrebné nové skúsenosti a znalosti voči aplikáciám TEV.

Obrázok 33

- | | |
|-----------------------|-----------------|
| 1. Vstup | 8. Cievka |
| 2. Výstup | 9. Zástrčka AMP |
| 3. Dýza | 12. O-krúžok |
| 4. Filter | |
| 5. Sedlo ventilu | |
| 6. Kotva ventilu | |
| 7. Hliníkové tesnenie | |



Dom/casa
AGBF-360.13.11

Príklad EEV na obr. 33 je priamo činný ventil AKV/A 10 a jeho menovitý prevádzkový výkon pre $t_o = +5^\circ\text{C}$, $t_k = +32^\circ\text{C}$ a podchladenie $t_{\text{podchl}} = 4\text{ K}$ a rôzne chladivá je v rozsahoch

$$QN = 1,0 \dots 15,0 \text{ kW pro R 404A, resp. } = 4,0 \dots 100 \text{ kW pro R717,}$$

Pri porovnaní tohto ventilu s TEV zistíme, že môže pracovať s omnoho menšími tlakovými spádmi než ako bežný termostatický expanzný ventil. Táto vlastnosť umožňuje, že môže riadiť nástrek chladiva do výparníka i v podmienkach nízkeho kondenzačného tlaku - tým sa ušetrí značné množstvo energie. To je dané konštrukciou, plným otvorením, kedy ventil neškrťá chladivo pri prechode dýzou.

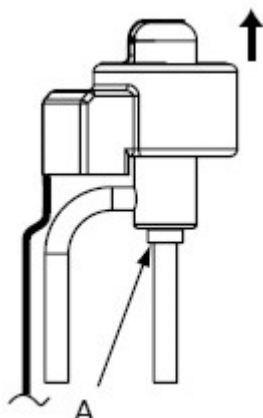
7.3.3.1 Elektronický expanzný ventil s krokovým motorom

Chladiaci okruh, najmä ak je vybavený plynulou reguláciou výkonu kompresora, obsahuje okrem „štandardu“ ako sú teplotné čidlá a tlakové ochrany aj komponenty, ktoré nie sú principiálne nutné, ale výraznou mierou zlepšujú stabilitu a ekonomiku prevádzky. Najmä klimatizácii sa používa LEV (LEV – Linear Expansion). Tieto ventily sú riadené krokovým motorom. Kombináciou týchto LEV s reguláciou výkonu kompresora pomocou frekvenčného meniča zníženie spotreby el. energie môže byť až 70 % z ročnej kumulovanej spotreby.

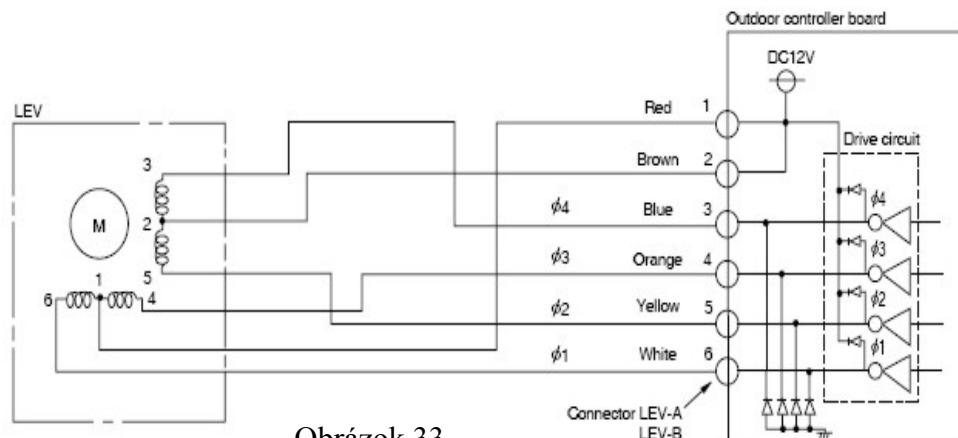
Ak EEV s krokovým motorom ostáva po vypnutí prúdu v otvorenej polohe, je potrebné predradiť elektromagnetický ventil, aby sa zabránilo zaplaveniu výparníka kvapalným chladivom. Prechod ihly z jednej krajnej polohy do druhej trvá cca 5 sekúnd. Treba preto počítať s tým, že pri zmene výkonu výparníku, nutné prestavenie ventilu trvá nejakú dobu

7.3.3.1 Konštrukcia „LEV“ ventilu

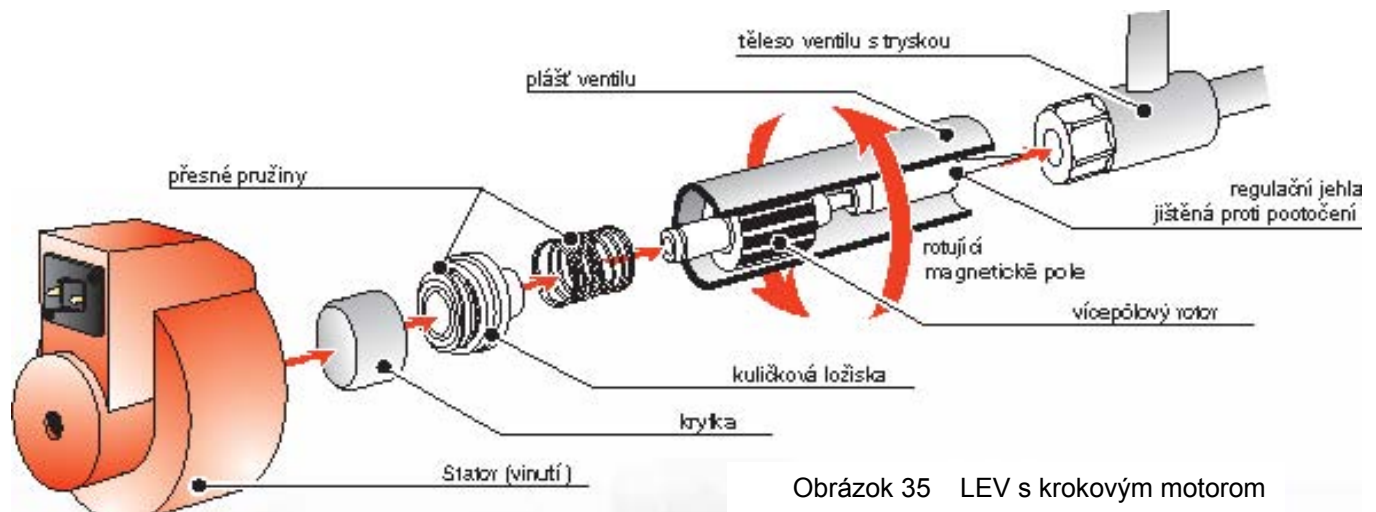
Samotný ventil je ihlového typu. Posun ihly do požadovanej polohy zabezpečí presne definovaný počet otočení krokového motora. Najmenší krok motora je 90° pootočením. Otočenie rotora je cez prevodovku transformovaný na axiálny posun ihly v rozsahu asi 2 mm. Základnú konštrukciu LEV ventilu vidíme na obrázkoch 34-36.



Obrázok 34



Obrázok 33

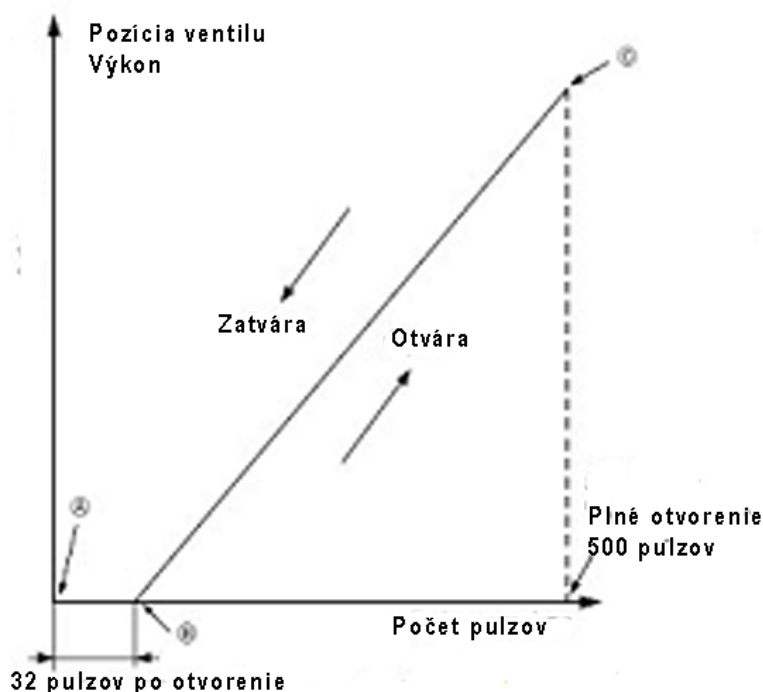


Obrázok 35 LEV s krokovým motorom



Obrázok 36 LEV s pohyblivým premenlivým prietočným otvorom

Stator (cievky) je na ventil len jednoducho nasunutý a zabezpečený proti pohybu pružnou závlačkou. Riadiace napätie je 12VDC impulzného charakteru. Tok chladiva cez ventil je možný obojsmerne, čo vyžaduje použitie takéhoto ventilu v tepelnom čerpadle. Ako ukazuje obr. 36 a názov LEV napovedá vzťah medzi počtom riadiacich impulzov a otvorením je lineárny. Počet pulzov na plné otvorenie je 500. V zatvorenej polohe sa ventil kalibruje - riadiaca elektronika má istotu polohy ventilu.



Obrázok 37

Funkcia a riadenie „LEV“ ventilu

- udržiava nastavené prehratie chladiva s funkcie (MOP, LOP): hodnoty sa stanovujú prepočtom zo snímaného tlaku a teploty
- i pri nízkom a premenlivom kondenzačnom tlaku úspora 20 % ročných nákladov
- **Obojsmerné prúdenie**
- Proces škrtenia je riadený programom, ktorý vypočítava správnu polohu regulačnej ihly v reálnom čase a pomocou krokového motoru posúva ihlu do pozície stanovenej výpočtom.

Výber ventilu

Dôležitý je pomer chladiacích výkonov kompresorov k výkonom expanzných ventilov. Použitie ventilov si vyžaduje, aby bolo možné v celom rozsahu používaných teplôt výparných a kondenzačných zladíť výkon kompresora s výkonom EV. Pre dosiahnutie stability prevádzky musí byť pracovné prehriatie (*súčet statického a dynamického prehriatia*) väčšie než hodnota MSS použitého výparníka.

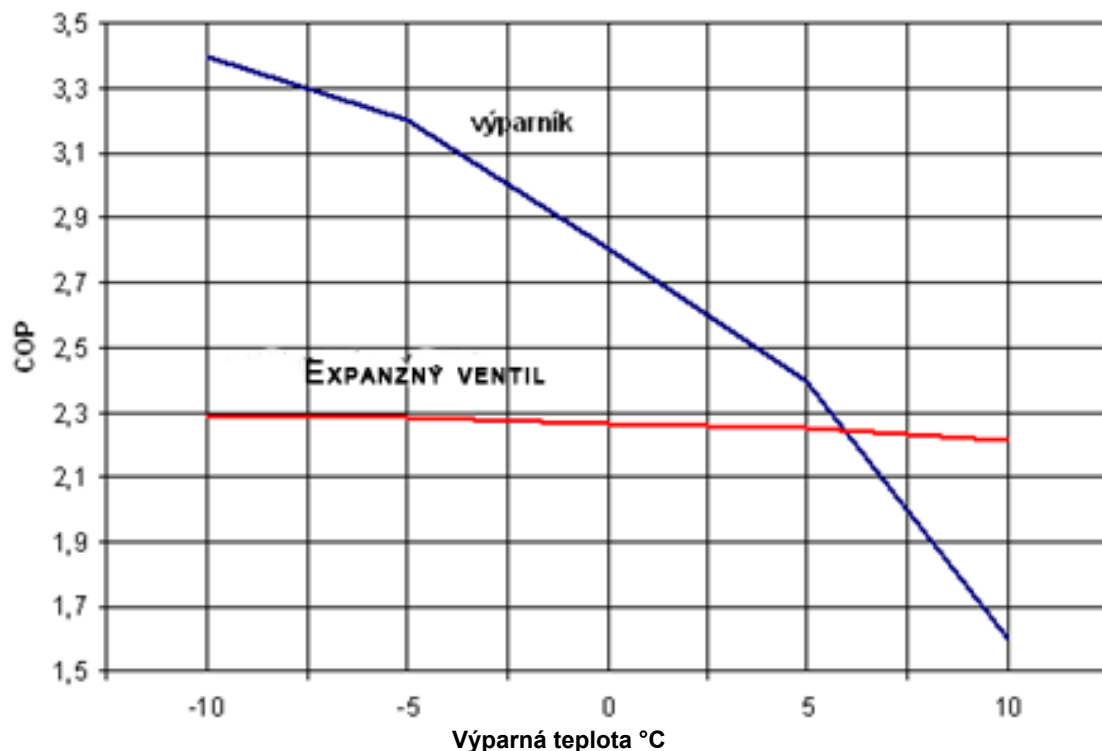
Analytická metóda konštrukcie a stanovenia charakteristík parných chladiacích okruhov závislosti chladiaceho výkonu od výparnej teploty pre kompresor, výparník a expanzný ventil je potrebná napríklad pre tepelné čerpadlá vzduch voda, a to ako za menovitých, tak i prevádzkových podmienok, ktoré sa od menovitých niekedy podstatne líšia v priebehu dňa, mesiaca, roka.

Je potrebné určenie rovnovážneho stavu sústavy kompresor - výparník – EV. Závislosť chladiaceho výkonu kompresora, výparníka, expanzného ventilu od výparnej teploty pri konštantnej kondenzačnej teplote je daná jeho charakteristikou udanou výrobcom kompresoru.

Rovnovážny stav sústavy kompresor – výparník je daný priesečníkom ich charakteristík. Musí byť dosiahnutá zhoda chladiaceho výkonu kompresora a výparníka. Týmto výkonom musí odpovedať i výkon EV (pozri kapitolu 5 a 7.2).

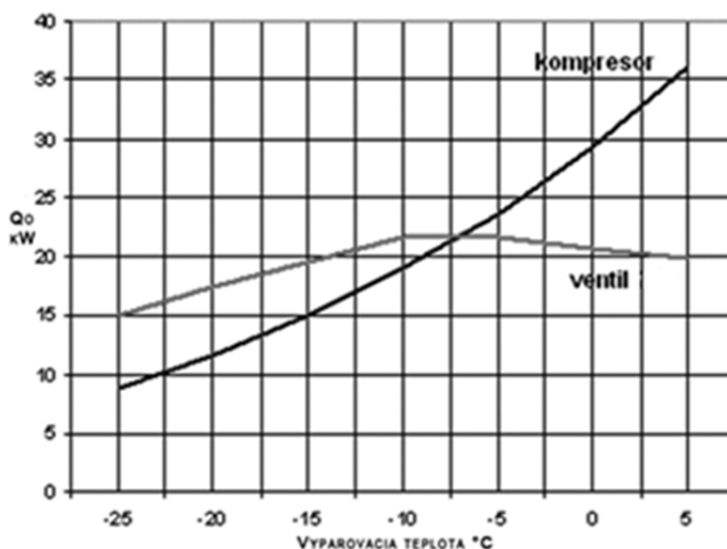
Priradenie vstrekovacieho ventilu k výparníku

Správne navrhnutý vstrekovací ventil neovplyvňuje energetickú náročnosť chladiaceho zariadenia. Každý výmenník má svoju vlastnú charakteristiku danú konštrukciou, materiálmi výmenníka a prevádzkovými podmienkami. Výrazný vplyv hrá najmä namrzanie výparníka pri podnulových výparných teplotách a znečistenie teplo výmennej plochy výmenníka a to ako z vonkajšej, tak i z vnútornej strany. Vnútorne pomery pri zdieľaní tepla ovplyvňuje z hľadiska znečistenia najmä mazivo na stene výmenníka. Na vlastnosti vstrekovacieho ventilu má navyše vplyv kondenzačný tlak (teplota), ktorý určuje rozdiel tlakov použitý pre zaistenie prietoku chladiva ventilom.



Obrázok 38 Vplyv vstrekovacieho ventilu na chladiaci faktor

Na obrázku 38 sú zobrazené hodnoty chladiaceho faktora pre konkrétnu sústavu kompresor - výparník – vstrekovací ventil. Zobrazený ventil má veľmi plochú charakteristiku, ktorá zachováva hodnotu chladiaceho faktora takmer stálu. Je preto výkonovo vhodným riešením uvedeného prípadu po teplota cca 7°C. Dôležitou vlastnosťou ventilu musí byť dostatočný výkon pri všetkých prevádzkových stavoch, výparných teplotách výparníka, aby množstvo dodávaného chladiva bolo vždy vhodné pre určitý chladiaci výkon a výparník pracoval pri najvýhodnejších prevádzkových podmienkach.

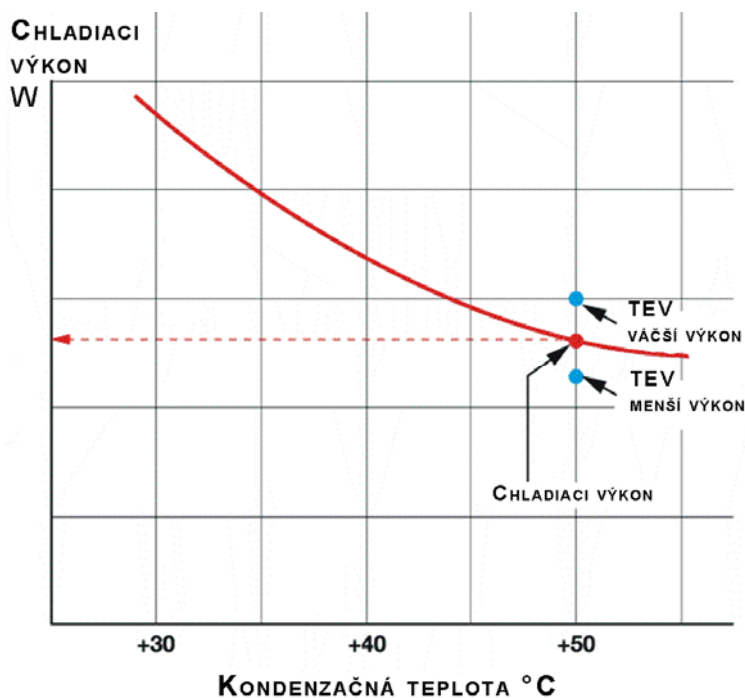


Obrázok 39 Porovnanie vstrekovacieho ventilu a kompresora

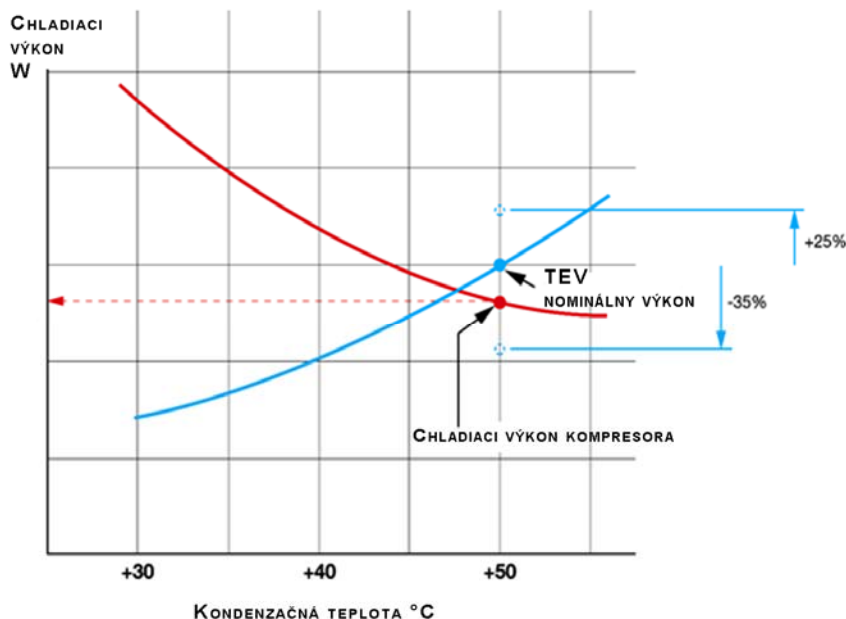
Na obrázku 39 je zobrazený priebeh výkonu kompresora s porovnaním s priebehom výkonu vstrekovacieho ventilu. Je zrejmé, že pri výparnej teplote nad cca $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ by vstrekovací ventil nestačil dodávať chladivo do výparníku, ktorý by mal výkon odpovedajúci veľkosti kompresoru a celá sústava by sa stala nevyváženou. Nový rovnovážny stav vzhľadom na nižší výkon EV by potom nastal pri rovnakom výkone kompresora pri nižšej výparnej teplote.

Výber expanzného ventilu

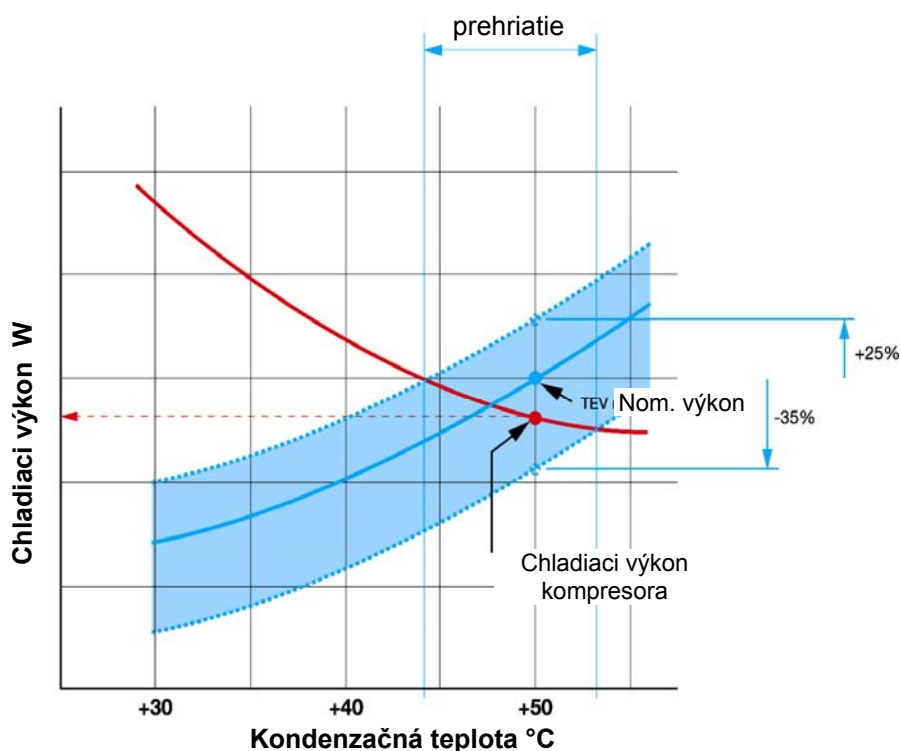
Volíme vždy ventil s vyšším výkonom ako je požadovaný. Znázorníme si hranice, pri ktorých expanzný ventil udržuje prehriatie v rozmedzí $\Delta t = (0,6 \text{ až } 0,7) \times \Delta t_m$, respektíve $\Delta t < \Delta t_m$ a priesečníky s chladiacim, kondenzačným výkonom výmenníkov tepla vymedzujú hranice, v ktorých zvolený expanzný ventil pracuje so stabilným prehriatím.



Obrázok 40 Voľba EV s výkonom zodpovedajúco výkonu kompresora znázorneného červenou čiarou



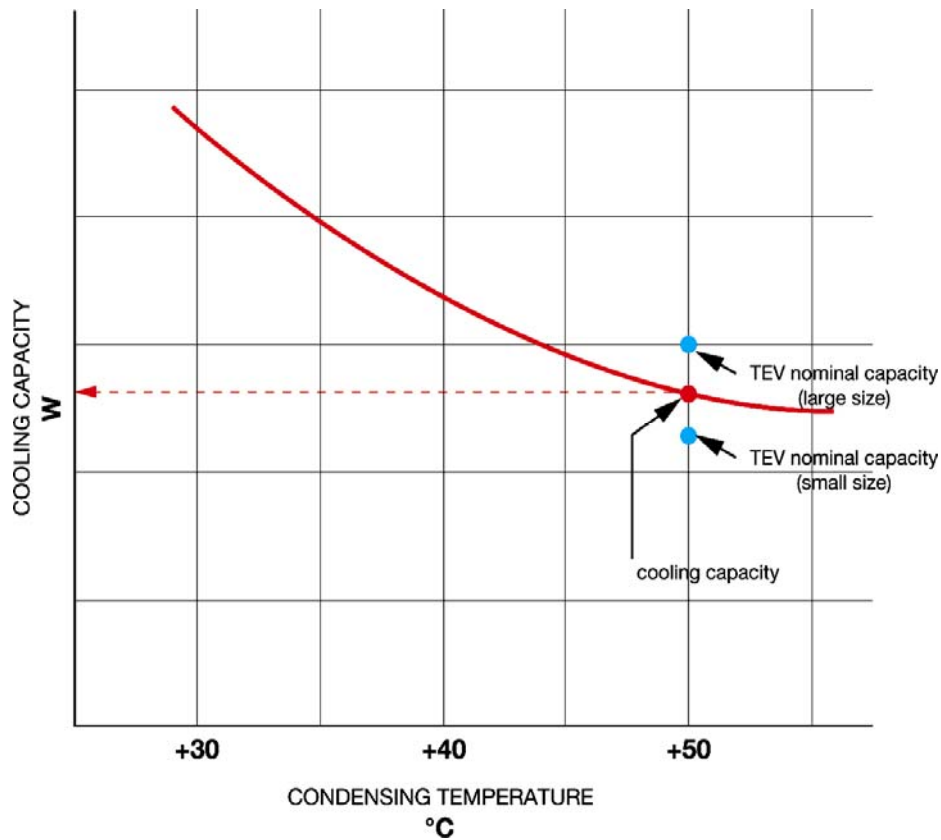
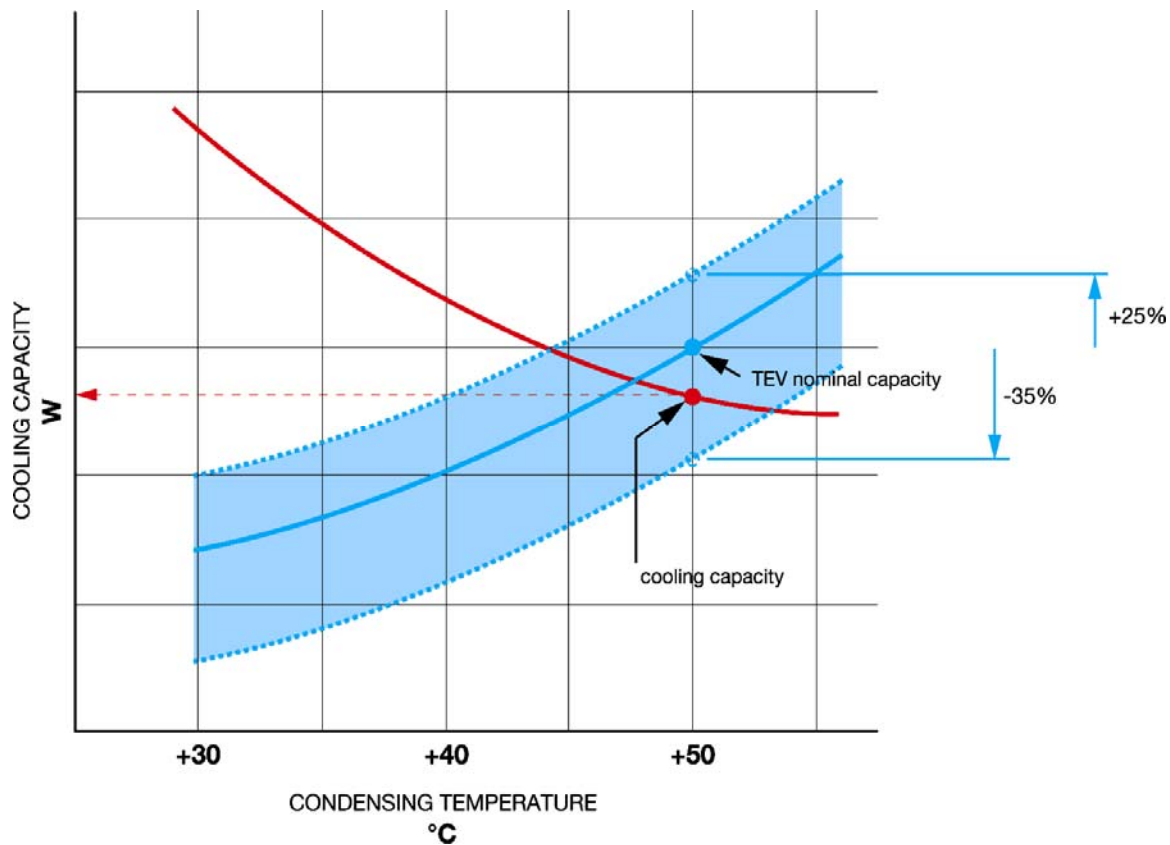
Obrázok 40 Klesajúci výkon TEV pri klesajúcej kondenzačnej a konštantnej výparnej teplote znázornený modrou čiarou

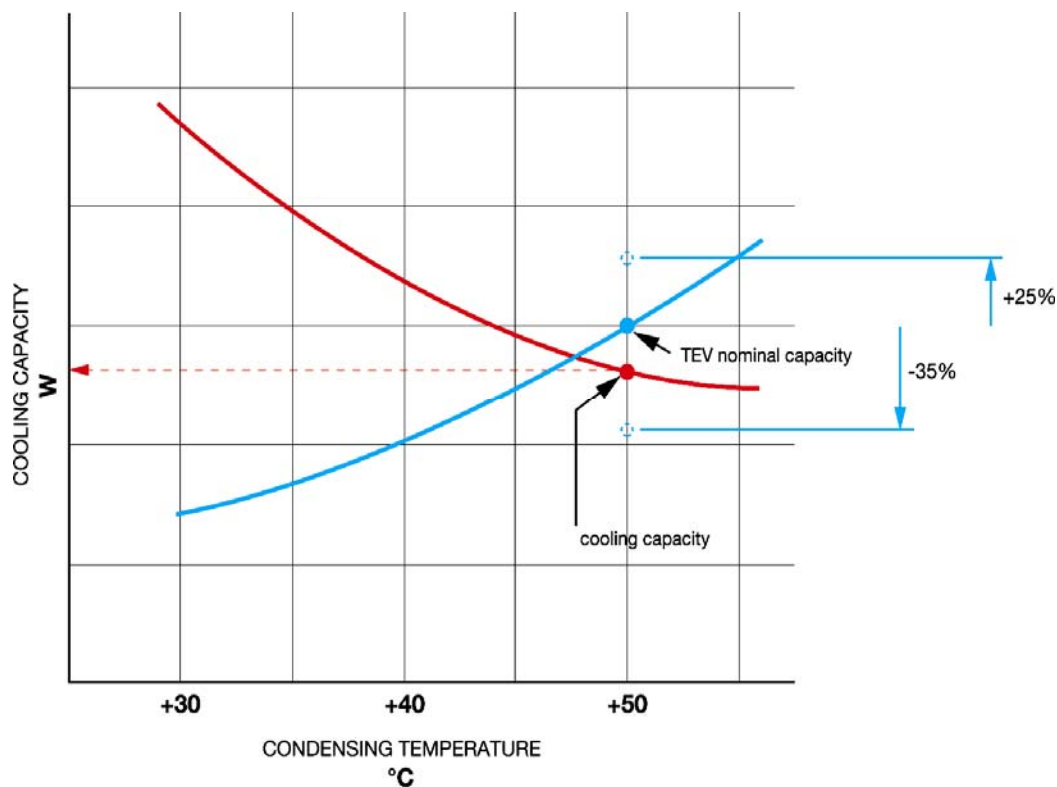


Obrázok 41 Hranice výkonu TEV pri zmene kondenzačnej a konštantnej výparnej teplote znázornené modrou farbou teploty s vyznačenou oblasťou možnosti regulácie prehriatia

Literatúra

- [1] Huelle Z.R.: Points of View on Evaporator Liquid Supply Control by Thermostatic Expansion Valves. Danfoss Journal
- [2] Polák V.: Automatizace chladicích zařízení. SNTL Praha, 1983
- [3] Petrák, J., Klazar, L.: Tepelné vlastnosti ekologicky vhodných chladiv. Skriptá ČVUT, 1992.
- [4] Blaha, M.: Expanzné ventily Flica. TV SZ CHKT 9/1999.
- [6] Čejka, Z.: Elektronické expanzné ventily. Alfaco informuje Správy SZ CHKT 2007.
- [7] Fencel, Z.: Expanzné ventily. Správy SZ CHKT 1999.
- [8] Tomlein, P.: Energetická efektívnosť pri prechode na nové chladivá. STU, 2006.
- [9] Sudek P.: Elektronické expanzné ventily. Konferencia SZ CHKT. Lubovňa, 2002.
- [10] Ullrich H.J.: Chladicí technika. Díl II. SCHKT Praha, 2000. ISBN 80-238-5889-0
- [11] Technické materiály firmy Danfoss a.s. a Alco Controls

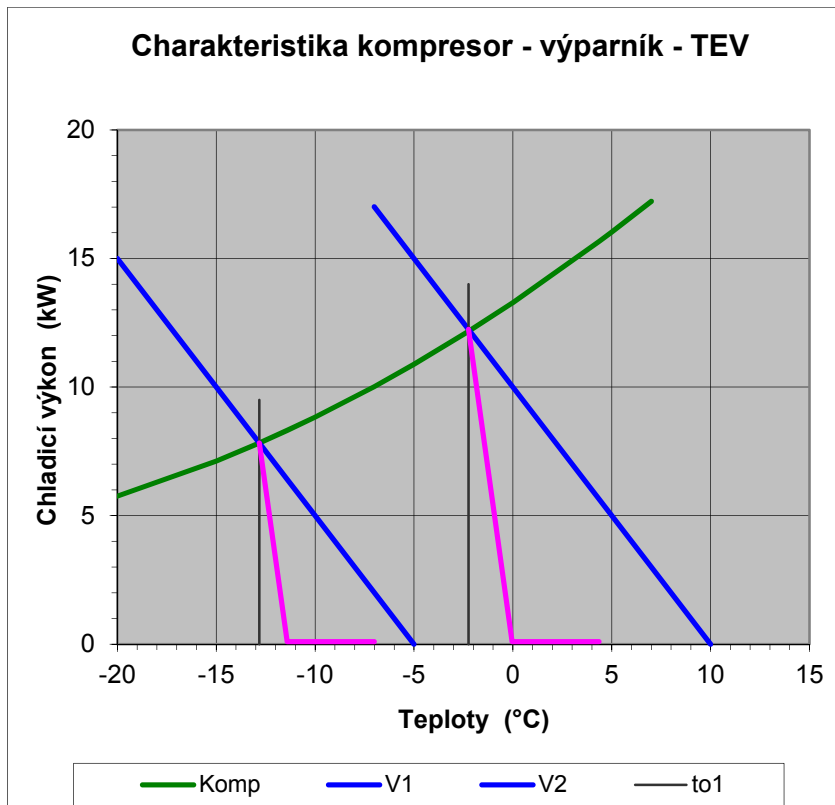




7.3.3 Kompresor, výparník a expanzní ventil

Graficko – analytická metóda konštrukcie a stanovenia charakteristík parných chladiacich okruhov a to ako za menovitých, tak i prevádzkových podmienok, ktoré sa od menovitých niekedy podstatne líšia.

Na obrázku 9 je naznačené určenie rovnovážneho stavu sústavy kompresor - výparník – TEV. Závislosť chladiaceho výkonu kompresoru na teplote výparnej pri konštantnej kondenzačnej teplote je daná jeho charakteristikou udanou výrobcom kompresoru. Na obrázku 9 je znázornená zelenou krivkou.



Obrázok 34

Obr. 9

Charakteristika výparníka (tu V1 pre $t_e = 10\text{ °C}$, V2 pre $t_e = -5\text{ °C}$) je znázornená modrou priamkou, ktorá pretína os X v bode s hodnotou t_e a ktorej sklon závisí od veľkosti teplo výmennej plochy, súčiniteľa prestupu tepla medzi chladenou látkou (vzduchom) a vyparujúcim sa chladivom, množstvom vzduchu a jeho tepelnou kapacitou. V obrázku 9 je uvedená charakteristika jedného výparníka pre prípad, že ochladzovaný vzduch na vstupe do výparníka má v prvom prípade teplotu 10 °C , v druhom -5 °C .

Rovnovážny stav sústavy kompresor – výparník je daný priesečníkom ich charakteristík. Ako vyplýva z obrázku, pri teplote vzduchu 10 °C nastane rovnováha pri teplote výparnej $-2,24\text{ °C}$, pri teplote vzduchu -5 °C je rovnovážny stav pri teplote výparnej $-12,82\text{ °C}$. Za týchto podmienok je dosiahnutá zhoda chladiaceho výkonu kompresora a výparníka. V danom prípade sa jedná o chladiace výkony $12,24\text{ kW}$ a $7,82\text{ kW}$.

Týmto výkonom musí odpovedať i výkon TEV, ktorého charakteristika pre oba prípady je znázornená červeno. Tato charakteristika sa skladá z dvoch častí, priamky strmo klesajúcej predstavujúcej dynamické prehriatie a úsečky ležiacej na osi X odpovedajúcej svojou dĺžkou statickému (otváraciemu) prehriatiu. Odčítané hodnoty pre sledované teploty vzduchu vstupujúceho do výparníka sú uvedené v tabuľke 1.

Teplota vzduchu na vstupe do výparníka ($^{\circ}\text{C}$)	10	-5
Teplota výparná ($^{\circ}\text{C}$)	-2,24	-12,82
Chladiaci výkon (kW)	12,24	7,82
Pracovné prehriatie u ventilu = prehriatie pár chladiva (K)	6,60	5,81
Teplota pár chladiva na výstupe z výparníka ($^{\circ}\text{C}$)	4,36	-7,01
Delta 1 (teplota vzduchu – teplota výparná) (K)	12,24	7,82
Delta 1sk (teplota vzduchu – teplota pár) (K)	5,64	2,01
Pomerné prehriatie (prehriatie pár chladiva / Delta 1) (1)	0,54	0,74

Podľa [2] je hodnota pomerného prehriatia $0,74$ príliš vysoká a vedie k poklesu výkonu výparníka minimálne o 10% . To sa prejaví poklesom sklonu charakteristiky výparníka a rovnováha sústavy kompresor – výparník nastane pri nižšej teplote výparnej a teda i menšom chladiacom výkone.

Poznámka: Charakteristika kompresora uvedená na obrázku 9 odpovedá kompresoru ZS 45 s chladivom R 404A a teplote kondenzačnej 50 °C . Charakteristika TEV odpovedá ventilu Alco typ TX3- S29.

Výkon TEV odpovedá menovitému výkonu korigovanému na skutočný rozdiel tlaku pred a za ventilom, teploty výparnej a teploty kvapalného chladiva pred ventilom. Pri 100% výkonu odpovedá otvorenie ventilu menovitej hodnote, ktorá je nižšia ako maximálne možná. Každý ventil má teda určitú výkonovú rezervu,

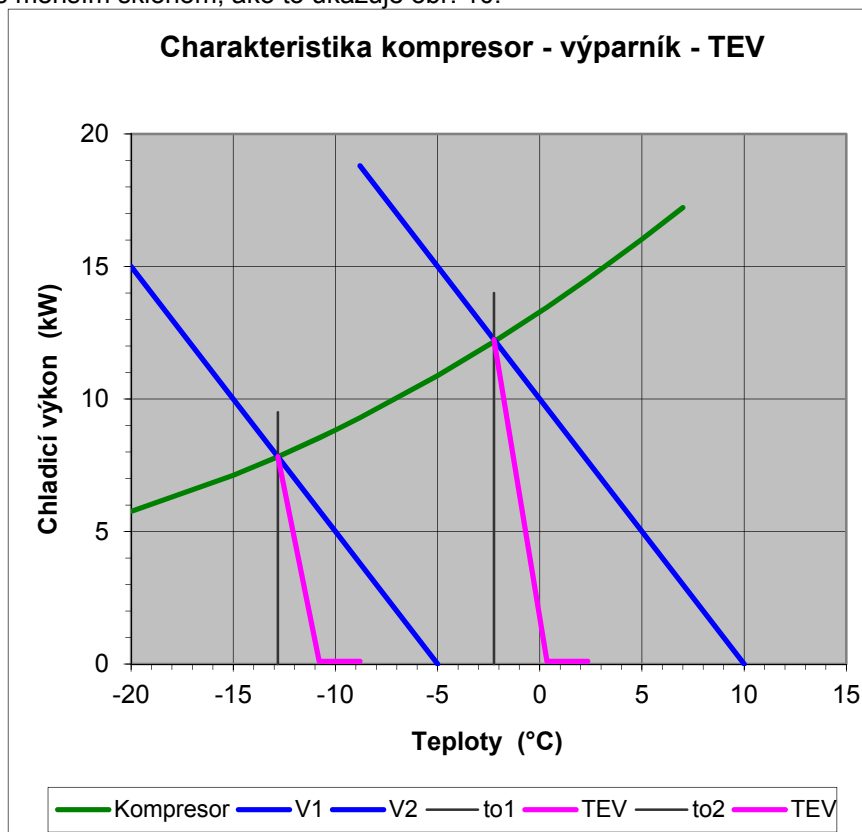
väčšinou cca 25 %. Pri pomere chladiaceho výkonu kompresora k výkonu ventilu väčším než cca 1,25 nezaistí ventil dostatočný prívod chladiva do výparníka, je výkonovo poddimenzovaný. V dôsledku nedostatku chladiva vo výparníku klesá výparný tlak a teplota, rovnováha systému sa nastaví na nižšej výparnej teplote, ktorej odpovedá i menší chladiaci výkon kompresora. TČ pracuje s horšími výkonovými a energetickými parametrami.

Rovnako ako poddimenzovanie TEV je špatné i jeho predimenzovanie. V tom prípade môžu byť problémy s preplavovaním výparníku chladivom a s nestabilnou činnosťou TEV.

Môžu sa najmä v TČ vyskytovať prevádzkové oblasti s nedostatočným výkonom použitého TEV. Ide o prevádzku za nízkych kondenzačných a vysokých výparných teplot. Taký prípad môže nastať napríklad pri použití TČ pre ohrev TV alebo bazénovej vody v letných mesiacoch.

Termostatické expanzné ventily s možnosťou nastavenia nízkeho statického prehriatia

Z obr. 9 názorne vyplýva, že veľká hodnota statického prehriatia nepriaznivo ovplyvňuje činnosť výparníka najmä pri nižšej výparnej teplote. Pre TČ s veľkým kolísaním teploty výparnej by zrejme boli vhodnejšie TEV s menším statickým a väčším dynamickým prehriatím. Väčšiemu dynamickému prehriatiu odpovedá charakteristika s menším sklonom, ako to ukazuje obr. 10.



Obrázok 35

Teplota vzduchu na vstupe do výparníka (°C)	10	-5
Teplota výparná (°C)	-2,24	-12,82
Chladiaci výkon (kW)	12,24	7,82
Pracovné prehriatie u ventilu = prehriatie pár chladiva (K)	4,59	4,02
Teplota pár chladiva na výstupe z výparníka (°C)	2,35	-8,80
Delta 1 (teplota vzduchu – teplota výparná) (K)	12,24	7,82
Delta 1sk (teplota vzduchu – teplota pár) (K)	7,66	3,8
Pomerne prehriatie (prehriatie pár chladiva / Delta 1) (1)	0,38	0,51

Porovnanie obrázkov 9 a 10 a tabuliek 1 a 3 ukazuje, že oproti súčasne používaným TEV došlo ku zníženiu hodnoty pomerneho prehriatia, čo je dôležité najmä pri nízkych výparných teplotách. V danom prípade hodnota 0,51 je nižšia než maximálne prípustná 0,6 až 0,7 (pozri [2]).

Poznámka: Charakteristika kompresora uvedená na obrázku 10 odpovedá kompresoru ZS 45 pri prevádzke s chladivom R 404A a teplote kondenzačnej 50 °C. Charakteristika TEV odpovedá ventilu Danfoss typ TCBE (resp. TCCE) s dýzou č. 3.

Ako vhodný typ TEV s malým statickým prehriatím je možné uviesť výrobky Danfoss, typ TCAE, TCBE a TCCE. Tieto ventily sa od seba líšia v nasledujúcom:

- TCAE – univerzálny ventil s výmenou dýzou a nastaviteľným statickým prehriatím
- TCBE – ventil s pevne zabudovanou dýzou a nastaviteľným statickým prehriatím
- TCCE – ventil s pevne zabudovanou dýzou a konštantným statickým prehriatím

Podľa údajov výrobcu môžu s chladivom R404A tieto TEV pracovať so statickým prehriatím 2 až 6 K. Pre kusovú výrobu sa odporúča typ TCAE, pre malosériovú TCBE a sériovou TCCE s tým, že sa pred uvedením do výroby prototyp odladí s ventilom TCAE resp. TCBE.

Dôležitý je pomer chladiacich výkonov kompresorov k výkonom týchto ventilov. Použitie ventilov si vyžaduje, aby bolo možné v celom rozsahu používaných teplôt výparných a kondenzačných zladíť výkon kompresora s výkonom TEV. Pre dosiahnutie stability prevádzky musí byť pracovné prehriatie (*súčet statického a dynamického prehriatia*) väčšie než hodnota MSS použitého výparníku.

Parametre mechanických a elektronických expanzných ventilov v celoročnej prevádzke

Regulačné možnosti TEV sú závislosťou udržiavaného prehriatia od otvorenia ventilu. Konštrukčné riešenie TEV určuje statické prehriatie a závislosť otváracieho (*a pracovného*) prehriatia od otvorenia ventilu. Výrobcovia uvádzajú, že TEV sú schopné regulovať do cca 30 % otvorenia ventilu. Tomu odpovedá z hľadiska funkcie určité, minimálne nutné pracovné prehriatie – **minimálne pracovné prehriatie**. Tak by mal byť TEV nastavený z výroby.

Pri zmene nastavenia sa mení (*znižuje/zvyšuje*) statické prehriatie a charakteristika ventilu sa posúva tak, že minimálne otvorenie, kedy TEV ešte reaguje na zmenu pracovného prehriatia, tzn. kedy reálne prehriatie je väčšie ako minimálne pracovné prehriatie – sa tiež mení (*zvyšuje/znižuje*).

Pokiaľ sa TEV pri určitom aktuálnom stave ventilu nastaví na takmer minimálne pracovné prehriatie, potom pri zmene stavu, kedy by TEV mal nastaviť nový „požadovaný stav“, a k takému nastaveniu nepríde, potom TEV je už „pod medzou citlivosti“. Ak „reálne“ otvorenie TEV je väčšie než „požadované“, TEV nereguluje, prepúšťa neregulované väčšie množstvo chladiva ako je potrebné, okruh pracuje s minimálnym až nulovým prehriatím, eventuálne až s mokrymi parami.

Nastavenie ventilu na minimálne prehriatie a overenie funkcie ventilu by sa malo vykonať pri extrémnych podmienkach pre ktoré je TEV určený. Mala by byť známa charakteristika ventilu – regulačné možnosti a možnosti jeho nastavenia.

V súčasnej dobe sú k dispozícii popri mechanických termostatických expanzných ventiloch (TEV) i elektronické expanzné ventily (EEV). Je dôležité vedieť, či použitie drahších EEV môže zaistiť zvýšenie energetického efektu. EEV sú práve tak proporcionálne regulátory ako TEV, takže riadenie ventilu podľa prehriatia prebieha na oboch ventiloch principiálne zhodným spôsobom. S tým rozdielom, že regulačná sila je v TEV vyvodená mechanicky – limitovaným rozdielom tlakov indikujúcich prehriatie, a v EEV je vyvodená elektrickým pohonom – krokovým motorom alebo pulzne. A je to práve iný spôsob pohonu, ktorý umožňuje ventilom EEV zvládnuť väčší rozsah výkonov, pretože regulačná sila nie je limitovaná ani veľkosťou ani rýchlosťou a teda nie je závislá od zmien výparnej a kondenzačnej teploty.

Je potrebné si uvedomiť napríklad podstatný rozdiel medzi pracovnými podmienkami TČ „vzduch–voda“ a štandardných chladiacich zariadení (CHZ) pracujúcich v chladiarňach (CH) alebo mraziarňach (M), prípadne iných chladiacich zariadeniach s celoročnou prevádzkou:

- v TČ „vzduch–voda“ sa s poklesom vonkajšej teploty znižuje výparná teplota, ale súčasne sa zvyšuje aj kondenzačná teplota (*pri štandardnej ekvitermnej regulácii*);
- v klasických CHZ, ktoré väčšinou pracujú so stálou výparnou teplotou, sa pri poklese vonkajšej teploty táto teplota príliš nemení, ale kondenzačná teplota – pri použití vzduchom chladených kondenzátorov – má naopak prirodzenú tendenciu klesať!

Tým je daný podstatný rozdiel priebehu pracovných podmienok, ovplyvňujúcich funkciu a parametre expanzných ventilov (EV) v priebehu roku a najmä v období s nízkymi až extrémne nízkymi vonkajšími teplotami vzduchu. Pre funkciu EV je rozhodujúcim ukazovateľom tlakový rozdiel na ventile, ktorý je primárne určený rozdielom medzi kondenzačným a výparným tlakom $\Delta p = p_k - p_o$. Prietok chladiva ventilom je priamo úmerný odmocnine tlakového rozdielu. Parametre EV môžu byť vyjadrené rovnicami v tvare:

$$Q_v = k \times S \times \Delta h \times \sqrt{\frac{\Delta p}{v}}$$

$$Q_v = m_{ch} \times \Delta h$$

Kde	k	je súhrnný súčiniteľ	[-]
	S	– prierez dýzy EV	[m ²]
	Δh	– hmotnostná chladivosť	[kJ/kg]
	Δp	– reálny tlakový rozdiel na EV	[Pa]
	v	– merný objem chladiva pred EV	[m ³ /kg]
	m _{ch}	– hmotnostné obehové množstvo chladiva	[kg/sec]

Nominálny výkon EV Q_{vN} sa vzťahuje ku výparnej a kondenzačnej teplote napr.: $t_o=+4$ °C a $t_k=38$ °C. Pre ventil s určitým nominálnym výkonom Q_{vN} môžeme pre nominálne podmienky vypočítať súhrnnú konštantu: $k \times S$ a s tou potom pracovať pri výpočte reálneho výkonu ventilu Q_v pri iných okrajových podmienkach. Je dôležité poznamenať, že výkon ventilu je závislý od merného objemu chladiva v pred expanziou a nie je závislý od merného objemu po expanzii.

Ak určíme pri aktuálnych okrajových podmienkach t_o a t_k chladiaci výkon Q_o kompresora a výkon ventilu Q_v , môžeme potom určiť „vyťaženie“ alebo „využitie“ ventilu ako pomer $q_v = Q_o/Q_v$. Z oboch uvedených rovníc je potom možné odvodiť vzťah pre potrebnú prietokovú plochu ventilu S. Platí:

$$S = \frac{1}{k} \times m_{ch} \times \sqrt{\frac{v}{\Delta p}}$$

a pre pomernú prietokovú plochu ventilu s_v vzťahnutú na prietokovú plochu pri nominálnych podmienkach môžeme odvodiť vzťah:

$$s_v = \frac{S}{S_N} = \frac{m_{ch}}{m_{chN}} \times \sqrt{\frac{v}{\Delta p}} \times \sqrt{\frac{\Delta p_N}{v_N}}$$

K ľubovoľným okrajovým podmienkam t_o , t_k tak môžeme priradiť popri hodnote Q_o dôležité hodnoty q_v a s_v charakterizujúce aktuálny stav ventilu. Platí $q_v = s_v$.

Uvedený výpočet využitia TEV je dôležitý najmä v prípadoch, kedy sa vonkajšie podmienky v priebehu roka výrazne menia a je potrebné skontrolovať výkon ventilu pri extrémnych kondenzačných a výparných teplotách napríklad s poklesom vonkajšej teploty:

- v CHZ so vzduchom chladeným kondenzátorom sa tlakový rozdiel Δp znižuje a hoci chladiaci výkon rastie ventil musí otvárať,
- v TČ vzduch-voda sa tlakový rozdiel Δp zväčšuje a hoci chladiaci výkon klesá, EV musí privierať.

Z uvedeného vyplýva, že TEV treba skontrolovať, či sú schopné zaistiť požadovaný výkon najmä v CHZ pracujúcich celoročne. Ak nie je výhodné použiť EEV, ktoré dodávajú chladivo do výparníka dostatočne i pri znižovaní kondenzačného tlaku a prinášajú tak energetický efekt.