

Ing. Michal DUŠKA, Ph.D.  
Ústav termomechaniky, AV ČR  
doc. Ing. Vladimír ZMRHAL, Ph.D.  
ČVUT v Praze, Fakulta strojní,  
Ústav techniky prostředí  
Ing. Jiří KREPINDL  
INT CZ s. r. o.

# Regulace chladivových klimatizačních systémů



Ústav techniky prostředí

## Basic Principles of Cooling and Air-Conditioning Systems

Recenzent  
prof. Ing. Jiří Bašta, Ph.D.

Článek volně navazuje na dříve publikovaný příspěvek ve VVI s názvem „Technické aspekty při projektování chladivových systémů“ a seznamuje čtenáře se základními principy regulace chladivových klimatizačních systémů.

**Klíčová slova:** regulace, chlazení, chladicí zařízení, klimatizace

The article picks up loosely the threads of formerly published article “Technical Aspects of Refrigerant Systems Design” in the technical magazine VVI (Heating, Ventilation and Installation). Authors deal with basic principles of cooling and air-conditioning systems.

**Key words:** control, cooling, cooling system, air-conditioning

### ÚVOD

Chladivový systém je nutné vnímat jako kompaktní chladivový okruh, jehož venkovní a vnitřní část se přímo ovlivňují. Teplotní poměry na výparníku a kondenzátoru mají zásadní vliv na funkci celého systému. Pro správnou funkci chladivového systému je nutná zejména regulace vnitřních parametrů chladivového okruhu. Požadovanou teplotu klimatizovaného prostoru zajišťuje tzv. regulace vnějších parametrů, kterou nelze oddělit od regulace vnitřní. Požadavky vnitřní regulace spolu s tlakem na co nejvyšší účinnost systému mívají přednost před kvalitou regulace vnější. Při správném návrhu klimatizačních zařízení je proto nutné podrobněji proniknout do chodu klimatizačních jednotek.

### REGULACE VNITŘNÍCH PARAMETRŮ CHLADIVOVÉHO OKRUHU

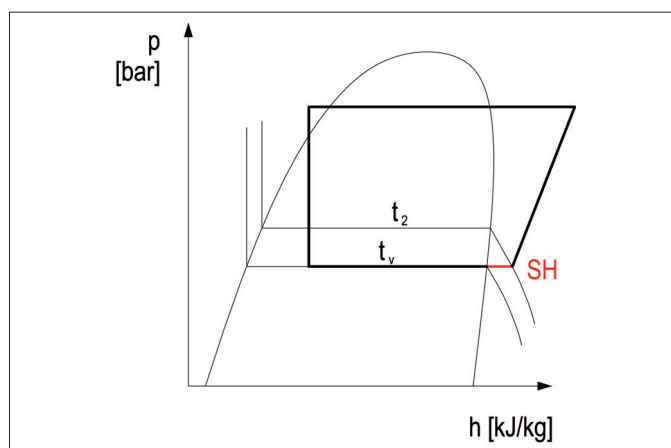
Základním regulačním prvkem chladicího okruhu s přímým výparníkem je expanzní ventil. Z volby a nastavení expanzního ventilu při požadované expanzi vyplývá hmotnostní průtok chladiva a následně požadavky kladebné na výparník a všechny ostatní prvky chladicího okruhu. Výparník při dané výparné teplotě musí chladivu předat tolik tepla, aby došlo k plnému odpaření chladiva. Kompresor pak musí mít dostatečný výkon, aby zajistil kompresi plynné fáze chladiva na tlak určený teplotou, při které chladivo zkapalní v kondenzátoru. Kondenzátor předává teplo dodané chladivu ve výparníku společně s teplem, které chladivo získá v kompresoru v podobě kompresní práce třetí teplotonosné látky. Kondenzátor je nejčastěji výměník chladivo-vzduch, který je navržen tak, aby popsany tepelný tok předal při rozdílu teplot vzduchu na vstupu a teploty kondenzační ne vyšším než 7 K. Teplotou vzduchu vstupující do kondenzátoru je pak jednoznačně určena kondenzační teplota a tlak.

Při regulaci vnitřních parametrů chladivového okruhu je nutné zajistit:

- plné odpaření chladiva aby se nedostala kapalina do kompresoru,
- vhodný expanzní poměr aby nedošlo k přetížení kompresoru,
- přehřátí kompresoru příliš vysokou teplotou výstupních par.

#### Regulace expanze v závislosti na stavu vypařování

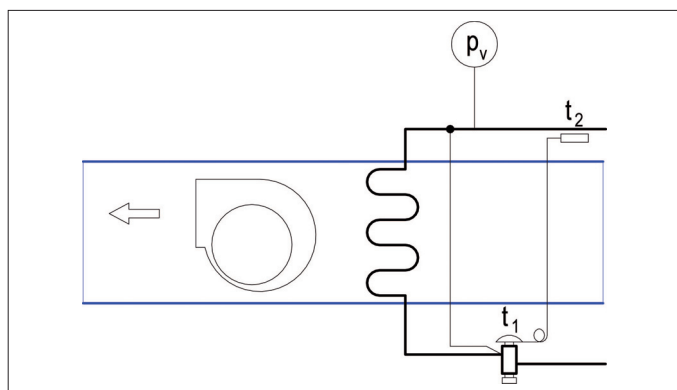
Expanzní ventil je regulován podle přehřátí chladiva  $SH$  za výparníkem (obr. 1), aby bylo zajištěno úplné odpaření chladiva a kompresoru nehrozil kapalinový ráz (vniknutí chladiva do kompresoru). Ke stanovení přehřátí chladiva jsou nutné dva údaje: výparný tlak a teplota za výparníkem. Pokud je přehřátí par vyšší než požadované, expanzní ventil přidá do výparníku chladivo, pokud je nižší, průtok chladiva sníží.



Obr. 1 Přehřátí chladiva za výparníkem v diagramu p-h

Důsledek této funkce expanzního ventilu je změna vypařovací teploty chladiva. Pokud se tepelný tok předávaný chladivu ve výparníku výrazně sníží (například snížením průtoku vzduchu klimatizační jednotkou), dojde k nedostatečnému odpařování chladiva následované snížením průtoku chladiva expanzním ventilem při současném snížení výparné teploty, které může klesnout pod bod mrazu a zapříčinit namrzání výměníku. Pokud chladivový okruh nezareaguje, zvýší se tlaková ztráta namrzajícího výparníku s následným snížením průtoku vzduchu, na které expanzní ventil reaguje dalším snížením průtoku chladiva s následným úplným zamrznutím výměníku. Z tohoto důvodu je chladivový okruh vybaven přídatným regulačním zařízením (viz odstavec Regulace výparného tlaku).

Vypařovací tlak je u expanzních ventilů s vnitřním vyrovnáním tlaku měřen v expanzním ventilu za expanzí. Expanzní ventily s vnějším vyrovnáním tlaku jsou doplněny odděleným měřením tlaku a odběr měřeného tlaku je umístován těsně za výparník. Expanzní ventily s vnějším vyrovnáním tlaku se doporučuje použít tam, kde nastává tlaková ztráta mezi expanzním ventilem a výparníkem, nebo tam, kde má výparník sám o sobě velkou tlakovou ztrátu. Expanzní ventily mohou být doplněny o funkci MOP (maximum operating pressure – nejvyšší provozní přetlak), která zajišťuje rozběh chladivového okruhu z tzv. teplého stavu. V době kdy chladivový okruh není v provozu, může dojít k zaplavení výparníku kapalným chladivem, které se při zapnutí kompresoru začne odpařovat při teplotě odpovídající aktuální teplotě ve výparníku. Pokud je teplota ve výparníku vysoká dojde ke zvýšení tlaku na sání kompresoru. Aby byl tento stav co nejrychleji překonán, uzavře expanzní ventil s funkcí MOP průtok chladiva, dokud neklesne výparná teplota pod nastavenou mez. Tato mez je odvozena z nejvyššího povoleného sacího tlaku kompresoru. Limitní výparná teplota nesmí být vyšší než 3 K nad teplotou odpovídající tomuto meznímu tlaku,



Obr. 2 Zjednodušené schéma přímého výparníku s expanzním ventilem

dále by mez neměla být nižší než výparná teplota navýšená o 5 K. Obvyklá mezní teplota pro MOP je 15 °C.

### Termostatický expanzní ventil

Nejjednodušším expanzním zařízením je kapilára, kterou lze použít pouze za předpokladu, že provozní podmínky chladivového okruhu jsou velmi blízko podmínkám návrhovým (např. domácí chladnička). Použití kapiláry v chladivovém okruhu určeném pro klimatizaci s kondenzátorem chlazeným venkovním vzduchem je nevhodné.

Termostatický expanzní ventil je autonomní expanzní zařízení, které je schopno reagovat na změnu poměrů v chladivovém okruhu. Jde o mechanické zařízení, které reguluje nástřík chladiva proměnným zdvihem jehly ovládané teplotně roztažnou kapalinou nebo plynem ve snímacím prvku („tykavky“) připojenou k chladivovému potrubí za výparníkem a propojenou s jehlou expanzního ventilu kapilárou. Termostatické expanzní ventily jsou konstruovány ve variantách s vnitřním a vnějším vyrovnáním tlaku tak, jak bylo popsáno výše.

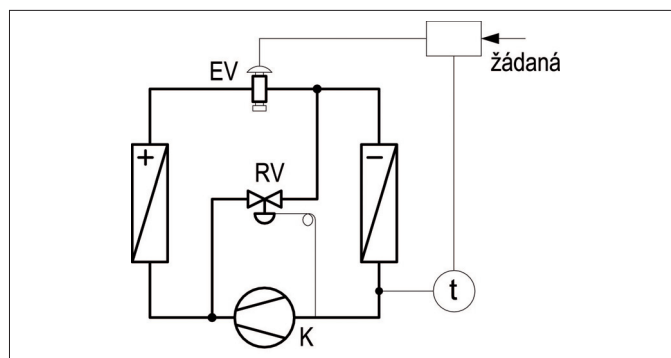
Nástřík chladiva je regulován tak, aby bylo dosaženo požadované hodnoty přehřátí chladiva ve výparníku. Přehřátí se skládá ze dvou částí: ze statického přehřátí nastavené výrobcem ventilu, které je zpravidla možné měnit nastavením ventilu a dynamického přehřátí vyplývajícího z provozních podmínek na chladivovém okruhu. Dynamické přehřátí je možné do značné míry eliminovat vhodnou volbou ventilu. Některé termostatické ventily jsou konstruovány tak, že mají v sobě integrovanou funkci MOP (plynová teplotně roztažná náplň).

### Elektronický expanzní ventil

Elektronický expanzní ventil (EEV) je mechanické zařízení ovládané přes servopohon elektronickým regulátorem na požadované přehřátí chladiva stanovené podle teplotního a tlakového čidla umístěných těsně za výparníkem. Průtok elektronickým expanzním ventilem je regulován, buď obdobně jako u termostatických expanzních ventilů zdvihem jehly (proportionální ventil) nebo v případě clonky s neměnným průřezem opakovaným uzavíráním a otvíráním průtoku chladiva (impulsní nebo cyklovací ventily). EEV umožňují ve spojení s elektronickými regulátory přesné řízení přehřátí, mohou mít integrovanou funkci MOP a mezi jejich další výhody patří:

- možnost změny výparné teploty za provozu,
- přesnější řízení přehřátí za pomoci tlakového a teplotního čidla,
- obousměrný průtok výhodný pro zapojení reverzibilních okruhů,
- využití stejného hardwaru pro širší řadu chladicích výkonů a chladiv.

Elektronické expanzní ventily dále umožňují integrovat funkci LOP (nejnižší provozní tlak – z angl. low operation pressure). Provozní podmínky, nebo vysoké přehřátí vedou k nízkému výparnému tlaku, regulace LOP zajišťuje, aby mezní tlak nebyl podkročen postupným otevíráním expanzního ventilu. Současně, však nesmí dojít k riziku kapalinového rázu a expanzní ventil musí stále zajistit minimální požadované přehřátí.



Obr. 3 Schéma regulace výparníku obtokem horkých par (HGB – Hot Gas By-pass)

### Regulace výparného tlaku

Expanzní ventil v důsledku své funkce není schopen primárně regulovat výparný tlak, jeho hlavním cílem je ochrana kompresoru proti kapalinovému rázu (regulace přehřátí SH). Pokud dojde ke snížení tepelného toku, který je ve výparníku předáván chladivu, dojde v důsledku reakce expanzního ventilu ke snížení výparného tlaku. Výparný tlak, popřípadě tlak na sání kompresoru, lze regulovat s použitím regulátoru obtoku horkých par.

Pokud expanzní ventil sníží průtok chladiva, potřebné množství chladiva pro vyrovnání tlaku na požadovanou mez zajistí obtok horkých par, které jsou vedeny z výstupu kompresoru přes regulační ventil před výparník. Regulační ventil zajišťuje snížení tlaku horkých par na požadovaný tlak, páry jsou před výparníkem míseny se směsí studené kapaliny a par expandujících na tlak řízený regulačním ventilem. Regulační ventil může být buď samočinný, nebo elektronický.

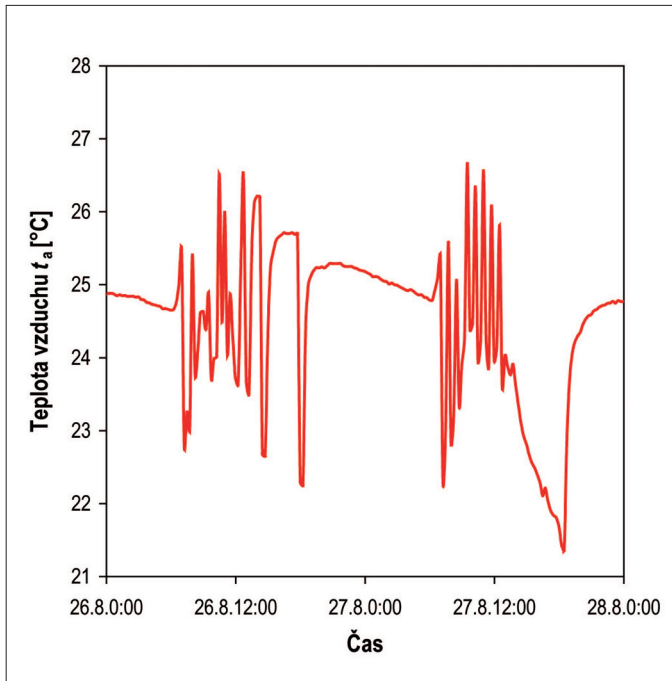
### Regulace kondenzačního tlaku/teploty

Kondenzační tlak a teplota jsou jednoznačně určeny teplotou, při které je kondenzátor (nejčastěji výměník chladivo-vzduch) schopen předat tepelný tok z chladiva do ohříváné tekutiny. Kondenzační teplotu ovlivňují následující faktory: teplosměnná plocha výměníku (dále označovaná jako velikost výměníku), prostup tepla teplosměnnou plochou (na kterou má v případě kondenzátoru chladivo-vzduch nejvýraznější vliv přestup tepla na straně vzduchu a účinnost žebra výměníku), teplota tekutiny na vstupu do výměníku (teplota venkovního vzduchu resp. rovnocenná sluneční teplota) a tepelná kapacita průtoku této tekutiny (součin hmotnostního průtoku a měrné tepelné kapacity tekutiny  $W = m \cdot c$ ).

Výměník kondenzátoru a průtok vzduchu jsou navrhovány tak, aby při jmenovitém výkonu chladivového okruhu a extrémní teplotě ohříváné tekutiny nebyl rozdíl mezi kondenzační teplotou a teplotou nasávaného vzduchu vyšší než 7 K. Kompresor je následně volen tak, aby byl schopen zajistit kompresi na požadovaný tlak. Pokud dojde ke snížení teploty nasávaného vzduchu, klesne i kondenzační teplota. Kompresor stlačuje plynné chladivo na nižší tlak se současným poklesem jeho příkonu.

Pokud se kondenzační teplota začne přibližovat teplotě výparné, nejčastěji v důsledku poklesu teploty venkovního vzduchu, dojde na základě povelu nízkého tlaku na výtlačku kompresoru k odstavení kompresoru. Z popsaných vlivů je zřejmé, že kondenzační teplotu je možné zvýšit (pomine-li se ohřev vzduchu před kondenzátorem) zmenšením teplosměnné plochy výměníku (prostým zakrytím), nebo snížením hmotnostního průtoku vzduchu kondenzátorem například snížením otáček ventilátoru což je častěji využívaná varianta.

Poměry na kondenzátoru se mohou měnit i v opačném směru. Nárůst kondenzační teploty a tlaku nad povolený pracovní tlak kompresoru s jeho následným odstavením bývá zapříčiněn buď nesprávným návr-



Obr. 4 Příklad průběhu teploty vzduchu v prostoru klimatizovaném chladivovým systémem (klimatizace kanceláře nepřetržitě v chodu, zatáhnuté vnitřní žaluzie)

hem zařízení, nebo snížením průtoku kondenzátorem v důsledku zanesení výměníku. Jako příklady lze uvést nesprávný odhad teploty vzduchu nasávaného do kondenzátoru např. v důsledku umístění sání vzduchu v blízkosti zdrojů tepla (typickým příkladem je umístění kondenzátoru na ploché střeše neošetřené reflexním nátěrem apod.), nebo výskyt pylů v jarním období.

### Řízení kompresoru

Z hlediska řízení kompresoru chladivového klimatizačního systému jsou v zásadě možné tři druhy provozního řízení:

- kompresor bez plynulé regulace výkonu je spínán podle požadavků na chladicí výkon předávaný chladivovým okruhem (vypnuto/zapnuto),
- kompresor umožňující plynulou regulaci výkonu (tzv. „invertor“) může změnu výkonu využít:
  - pro optimalizaci účinnosti chladivového okruhu regulací výkonu podle podchlazení kapalného chladiva  $SC$  za kondenzátorem. Otáčky kompresoru jsou regulovány tak, aby chladivo v kondenzátoru stačilo plně zkondenzovat a došlo k jeho podchlazení (přiblížení se teplotě ohřívání tekutiny v kondenzátoru),
  - výkon kompresoru může být řízen podle požadavků na chladicí výkon výparníku, potažmo výparné teploty (viz dále).

## REGULACE VNĚJŠÍCH PARAMETRŮ CHLADIVOVÉHO SYSTÉMU

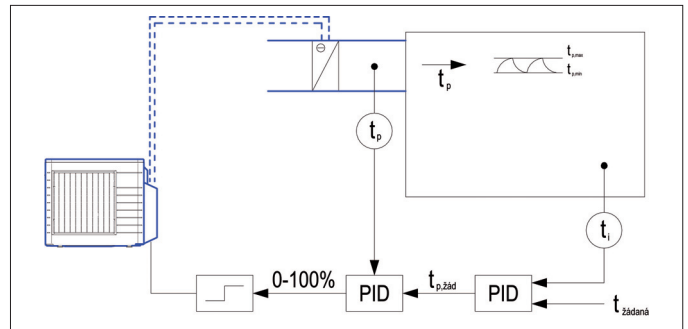
### Regulace teploty vzduchu

Chladivový klimatizační systém slouží k odvodu tepelné zátěže. Volba regulační strategie výrazně ovlivňuje schopnost systému udržet tepelný stav prostředí v požadovaném rozmezí. V komfortní klimatizaci rozlišujeme dvě základní regulační strategie:

1. klimatizační systém udržuje požadovanou teplotu v klimatizovaném prostoru,
2. klimatizační systém zajišťuje požadovanou teplotu přiváděného vzduchu.

### Regulace teploty vzduchu v prostoru

Regulace teploty vzduchu v prostoru klimatizovaném chladivovým systémem neklade vysoké požadavky na přesnost regulace. Obvykle tedy není



Obr. 5 Použití dvou sériově řazených regulátorů PID

nutná plynulá regulace výkonu zařízení a plně postačí dvou, nebo třístupňová regulace.

Příklad průběhu teploty vzduchu v prostoru s chladivovým klimatizačním systémem je uveden na obr. 4, odkud je zřejmé značné kolísání teplot během dne.

Nejjednodušším případem je dvupolohová jednostupňová regulace (vypnuto/zapnuto). Tato regulace se používá u chladivových systémů s jedním kompresorem bez regulace výkonu a jednookruhovým výparníkem. Kompresor je spouštěn, pokud teplota v prostoru překročí horní mez požadované vnitřní teploty a naopak vypnut, pokud je dolní mez podkročena. Tento typ regulace teplot v prostoru je však běžný i u chladivových systémů vybavených plynule řízeným kompresorem (invertorem) s PID regulací elektronického expanzního ventilu. Tyto prvky však často slouží k regulaci vnitřních parametrů chladivového okruhu, nikoliv však k plynulé regulaci teploty vzduchu v prostoru.

V případě potřeby plynulejší regulace je možné použít vícestupňovou skokovou regulaci. Z pohledu životnosti zdroje chladu lze doporučit dvou a více kompresorové zařízení s kompresory stejných výkonů, které lze spouštět v libovolném pořadí, a lze tak zajistit jejich rovnoměrné opotřebení. Z pohledu plynulosti regulace je naopak výhodné použít třístupňovou regulaci s dvouokruhovým zařízením. Požadovaný chladicí výkon je rozdělen mezi dva kompresory jejichž výkon je rozdělen na 1/3 a 2/3. Zařízení má dva okruhy se dvěma kompresory, ale umožňuje třístupňovou regulaci.

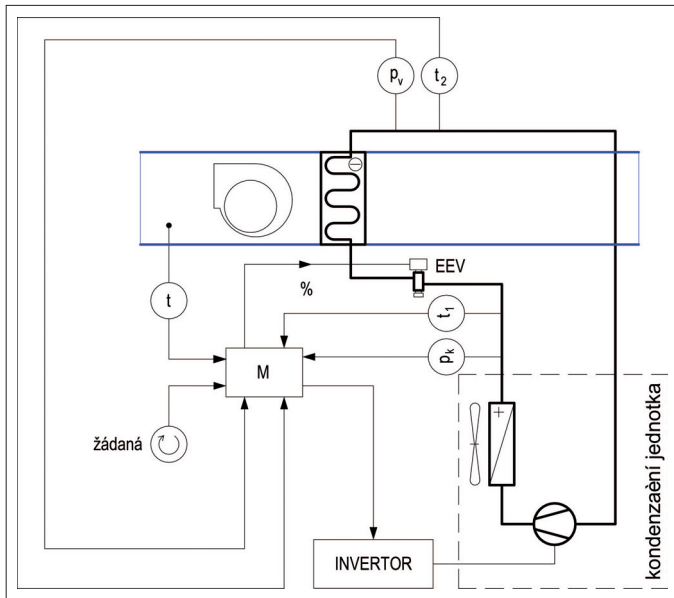
Dalším krokem k dosažení přesnější regulace teploty vzduchu v prostoru je použití dvou PID regulátorů v sérii viz obr. 5. První regulátor na základě rozdílu mezi žádanou a aktuální teplotou vzduchu v prostoru stanoví požadovanou teplotu přiváděného vzduchu, což je vstupní hodnota druhého regulátoru, který na základě rozdílu mezi žádanou a měřenou teplotou přiváděného vzduchu stanoví požadovaný výkon zdroje chladu. Požadavek na výkon zdroje chladu je sice plynulý, ale ve stupňovitěm spínači je převeden na skokovou regulaci výkonu vícestupňového zdroje chladu.

### Regulace teploty přiváděného vzduchu

Pro dosažení plynulé regulace teploty přiváděného vzduchu (jako primárního regulovaného parametru, nikoli pouze pomocného) je ve většině případů nutné použít plynulou regulaci výkonu zdroje chladu. Pro tento druh regulace se chladivový systém musí skládat z plynule řízeného kompresoru („invertorem“) a elektronického expanzního ventilu. Expanzní ventil s krokovým servopohonem je řízen PID regulátorem tak, aby bylo zajištěno požadované přehřátí chladiva  $SH$ . Regulaci požadované teploty přiváděného vzduchu zajišťuje PID regulátor plynule regulující otáčky kompresoru. Změnou otáček kompresoru dochází ke změně průtoku chladiva a následnému posunutí hodnoty výparného tlaku, a tedy regulaci teploty přiváděného vzduchu.

Pokud jsou otáčky kompresoru řízeny podle požadavku na teplotu přiváděného vzduchu, není možné současně řídit chod kompresoru podle podchlazení  $SC$ . Takto regulovaný chladivový systém proto nemusí dosahovat optimální účinnosti.





Obr. 6 Plynulé řízení teploty s elektronickým expanzním ventilem EEV a invertorem

## ZÁVĚR

Komfortní klimatizace s nízkými požadavky na kvalitu vnitřního prostředí nebývá nepřekonatelným problémem pro běžně dostupné chladivové systémy, i přes to, že PID regulace se v podstatě netýká regulace teploty vzduchu. Pokud budeme chtít chladivový systém použít v situacích, kde je

nutné udržovat teplotu přívodního vzduchu v úzkém intervalu, neobejdeme se bez speciální regulace chladivového systému.

Účelem článku bylo poskytnout čtenáři zevrubné informace o regulaci chladivových klimatizačních systémů, které nejsou běžně dostupné. Výrobci chladivových systémů totiž z pochopitelných důvodů detailní technické informace tají. I když prezentované informace nejsou vyčerpávající, předkládají v současnosti dostupné údaje o reálné funkci chladivových systémů.

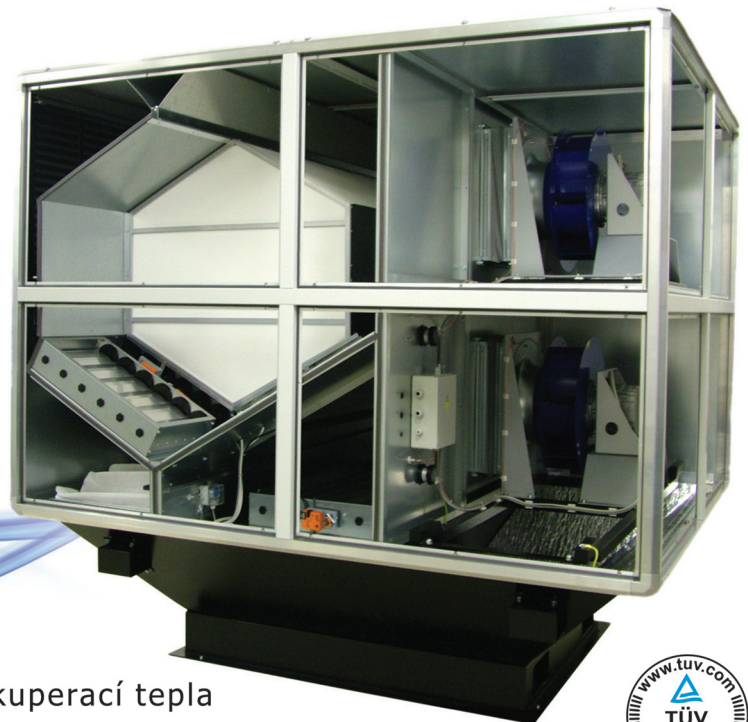
Kontakt na autora: [duska@it.cas.cz](mailto:duska@it.cas.cz)

### Seznam veličin

|       |                                   |      |
|-------|-----------------------------------|------|
| MOP   | nejvyšší provozní přetlak         | [Pa] |
| $p_k$ | kondenzační tlak                  | [Pa] |
| $p_v$ | výparný tlak                      | [Pa] |
| SH    | přehřátí plynné fáze chladiva     | [K]  |
| SC    | podchlazení kapalně fáze chladiva | [K]  |
| $t_e$ | teplota venkovního vzduchu        | [°C] |
| $t_k$ | teplota kondenzační               | [°C] |
| $t_v$ | teplota vypařovací                | [°C] |

### Použité zdroje:

- [1] Daikin Europe Extranet. Extranetové stránky firmy Daikin. Dostupné z: <http://extranet.daikineurope.com>
- [2] Krepindl J., Regulace chladivových systémů a přímé výparníky ve vzduchotechnice. Přednáška na semináři Chladivové klimatizační systémy. Nepublikováno. STP. 2007
- [3] Zmrhal V., Krepindl J., Duška M., Technické aspekty při projektování chladivových systémů, In: Větrání vytápění, instalace, 2008, roč. 17, č. 5. ■



NEW

**BETA 9/7**

průmyslové větrání s rekuperací tepla  
s účinností větší **> 70 %** SFP 4

- větrací a vytápěcí jednotka s nastavitelným vzduchovým výkonem do 7000 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup>
- volná oběžná kola s EC motory umožňujícími dvoustupňovou regulaci vzduchového výkonu
- automatické řízení a regulace jednotek s možností připojení k síti ETHERNET a k PC
- protiproudý deskový rekuperační výměník s účinností minimálně 70 %
- distribuce čerstvého vzduchu dálkově ovládanou tryskovou vyústkou

