

Martin PECHAR
Phar Service a.s., specialista VZT

Vyhodnocení teplot a vlhkostí venkovního vzduchu ve vztahu k návrhu klimatizace

Evaluation of temperature and humidity of outside air in relation to the air conditioning design

Recenzent
Ing. Miloš Lain, Ph.D.

V článku jsou shrnuty výsledky pětiletého sběru tepelně vlhkostních hodinových odečtů z lokality v průmyslové oblasti východní části Prahy. Na výběru z původních více než 120 statistických grafů za období 2004 až 2008 jsou po jeho rozdělení podle typů na příkladech ukázány možnosti vyhodnocení. Je zde též uvedena vrstevnicová mapa průměrných četností se základnou t-x. Dále se příspěvek zabývá analýzou návrhových podmínek klimatizace vytvořených na základě kumulativních četností. Zavádí použití tří mezních stavů pro návrh chladiče, definuje podmínky chodu dohříváče klimatizační jednotky a uvádí jejich použití pro dimenzování výkonů prvků klimatizační jednotky ve vzorovém návrhu. Další kapitola ukazuje směry způsobu vyhodnocení zvlhčování resp. odvlhčování z pohledu množství vody, kterou je třeba za sledované období do vzduchu odpařit resp. z něj zkondenzovat. Z toho pak vychází porovnání průměrné roční energetické náročnosti v závislosti na různých tepelně vlhkostních požadavcích mikroklimatu vnitřního prostředí.

Klíčová slova: klimatizace, klimatická data, provoz klimatizace, průmysl

Author summarizes in the article results of a five-year collection of hourly readings of thermal and humidity values in the industrial area situated in the eastern part of Prague. The selection taken from more than 120 original statistical graphs that were created during the period of years 2004–2008 shows possibilities of such evaluation in examples after the classification thereof according to types. He shows also a contour map of average frequencies with basis t-x. Further, the contribution is engaged in the analysis of conditions for designing the air conditioning, which were created on the basis of cumulative frequencies. He introduces use of three limiting states regarding the design of the cooler; there are defined conditions for run of the reheater installed in the air conditioning unit and states use thereof for dimensioning outputs of air conditioning unit elements in the standard (sample) design. Next chapter shows directions of the method of how to evaluate humidification or dehumidification from the view of water quantity that has to be evaporated in or condensate from the air during the traced period of time. The comparison of the average annual energy intensity related to different thermal and humidity microclimatic requirements regarding the inside environment are based thereon.

Key words: air conditioning, climatic data, air conditioning operation, industry;

ÚVOD

Při návrhu a provozu VZT jednotek je třeba znát nejen požadované hodnoty vnitřního, ale i průběhy parametrů vnějšího prostředí.

Pro běžně navrhované projekty lze použít tabulkové výpočtové hodnoty zjištěné pro danou oblast (např. Výpočtové teploty okresních měst v ČSSR viz [1]). Pro náročnější aplikace je však vhodnější vycházet z údajů měřených v dané lokalitě. Tak je tomu i v případě Zentiva k.s. – farmaceutickém podniku ve východní části Prahy, kde jsou instalovány v jednom areálu stovky klimatizačních vzduchotechnických jednotek, které plní nejen teplotní požadavky, ale i přesně definované podmínky vlhkosti vzduchu tj. nároky na zvlhčování a odvlhčování během celoročního provozu. Proto zde v průběhu roku 2003 začal pro potřeby oddělení klimatizace probíhat sběr dat ve formě pravidelného zaznamenávání půlhodinových odečtů vybraných stavů vzduchu (teploty vzduchu, jeho relativní vlhkosti a z nich vypočtené teploty rosného bodu).

Za rok 2004 byl sebrán první ucelený soubor pravidelných automatických odečtů. V roce 2005 byly naměřené hodnoty zpracovány a na jejich základě byl vytvořen dokument: „Návrhové podmínky pro klimatizaci Zentiva Dolní Měcholupy“.



Martin Pechar (1957)

Absolvent SPŠ strojní v Praze 10 (1976),
obor přístrojová a automatizační technika.
Phar Service a. s., specialista VZT.

Tento článek shrnuje výsledky 5letého měření.

Dále se pak zabývá energetickou náročností vlhkostních úprav vzduchu ve vztahu k naměřeným hodnotám stavů venkovního vzduchu.

1. SBĚR DAT

Každou půlhodinu jsou v rámci monitoringu parametrů provozu v podniku ukládány i hodnoty teploty, relativní vlhkosti venkovního vzduchu a z nich vypočtené teploty rosného bodu.

K měření zde slouží prostorové čidlo relativní vlhkosti a teploty QFA3160 umístěné ve výšce cca 2 m nad zemí ve standardní meteorologické budce (GPS 50° 3' 36,3" severní šířky, 14° 32' 41,1" východní délky, 260 m n.m.v., standardní tlak vzduchu při 10 °C je 98,2 kPa).

Katalogové údaje o čidle vlhkosti

- | | |
|---|-------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Typ čidla | kapacitní |
| <input type="checkbox"/> Rozsah měření | 0 až 100 % relativní vlhkosti |
| <input type="checkbox"/> Základní chyba při 23 °C | v rozsahu 0 až 100 % ± 2 % |
| <input type="checkbox"/> Teplotní chyba | ≤ 0,05 % rel. v./°C |
| <input type="checkbox"/> Časová konstanta | cca 20 s v proudícím vzduchu |

Katalogové údaje o čidle teploty

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Typ čidla | Pt 1000 třída B |
| <input type="checkbox"/> Rozsah měření | – 35 až 35 °C
(– 40 až 70°C od 1. 1. 2008) |
| <input type="checkbox"/> Základní chyba při 15 až 35 °C | ± 0,6 K |



Obr. 1 Meteorologická budka v areálu Zentiva k.s.

- Základní chyba při -40 až $70\text{ °C} \pm 0,8\text{ K}$
- Časová konstanta cca 20 s v proudícím vzduchu

Snímač je vybaven převodníky 0 až 10 V (DC) pro oba měřené údaje.

Přesnost čidla a celého měřicího řetězce je prověřována v ročním intervalu.

2. ZPŮSOBY VYHODNOCENÍ DAT

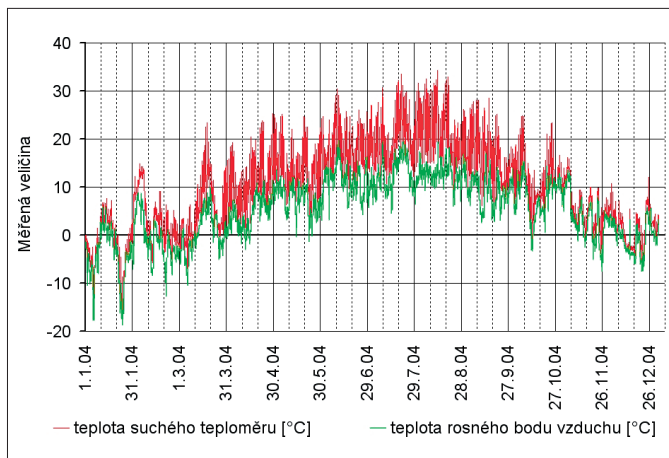
Každoročně je výsledkem měření tabulka dat o $17\,520$ (v přestupném roce o $17\,568$) řádcích. Tabulkový procesor použitý pro zpracování dat má však určitá omezení. Nejdůležitější z nich je v tomto případě mezní počet $65\,536$ řádků rámci jedné tabulky (listu). Lze jím tedy zpracovat souhrn maximálně 3 ročních půlhodinových odečtů nebo 7 ročních hodinových odečtů.

V tomto článku jsou proto předloženy výsledky za 5leté období vycházející z hodinových odečtů teploty, relativní vlhkosti a z nich dopočítávaných ostatních veličin stavu vzduchu. Vyhodnocovaný soubor dat v tabulce o $43\,848$ řádcích je však velmi nepřehledný. Až po grafickém znázornění časového průběhu lze získat představu, jak se jednotlivé proměnné postupně měnily. Lze též sledovat zákonitosti v opakování v rámci ročních období a měsíců. Pro porovnání tendencí jednotlivých měsíců se často používají grafy průběhů průměrných měsíčních veličin ve srovnání s průměrnou hodnotou za více let. Z hlediska názornosti vzájemných souvislostí stavových parametrů vzduchu je také zajímavé vynesení odečtených hodnot do h - x diagramu. Pro získání přehlednějších vztahů a zákonitostí ve sledovaném období bylo vhodné statisticky charakterizovat soubor naměřených dat četností výskytu jednotlivých hodnot. Pro návrhové klimatické podmínky a pro energetické výpočty byla použita pro zpracování souboru funkce kumulativní četnosti po vzoru dle ASHRAE Handbook – Fundamentals z roku 1997 [2]. Ta určuje četnost překročení dané hodnoty sledované veličiny ve vybraném období. Pro naše účely byly ze souborů naměřených dat zpracovány pro vybrané sledované veličiny tabulky relativních kumulativních četností s dělením po 1% . Z nich vycházejí předkládané grafy četnosti. V tomto článku jsou předloženy jako příklady převážně grafy vycházející z 5letých průměrů případně ročních údajů.

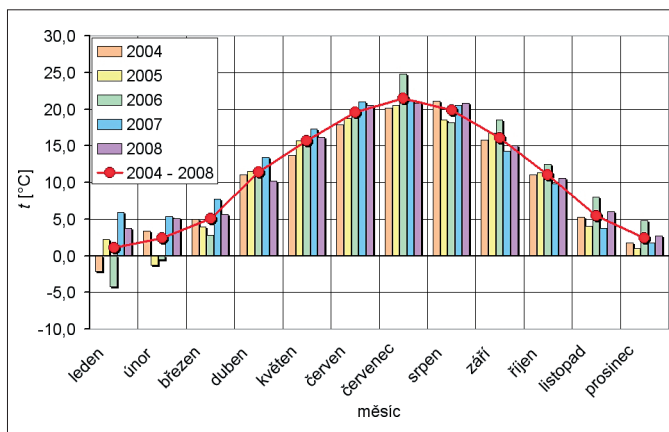
2.1 Vyhodnocení časových průběhů – znázornění vývoje v čase

Pro určení lokálních extrémů stavu vzduchu slouží grafy časového průběhu (chodu) sledované veličiny (roční, po období, měsíční).

Z grafu na obr. 2 je např. zřejmé, že v roce 2004 byla teplota nejnižší v 1. a 3. dekádě ledna, kdy byly 2 prudké poklesy, a nejvyšší na přelomu 2. a 3. dekadý července a pak ještě pár dní v srpnu. Lokální extrém byl např. ve 2. dekádě března, kdy byly dosaženy teploty konce dubna.



Obr. 2 Roční průběh vybraných stavových hodnot venkovního vzduchu v roce 2004



Obr. 3 Porovnání průběhů průměrných měsíčních teplot v letech 2004 až 2008

2.2 Vyhodnocení stavů vzduchu v grafech průběhů průměrných měsíčních veličin

Pro získání rychlé představy o stavech vzduchu vůči pětiletým průměrům získaným z měsíčních průměrů hodinových odečtů v rámci vyhodnocovaného období 2004–2008 se dají použít i grafy porovnání průběhů průměrných měsíčních teplot a měrných vlhkostí, případně teplot rosného bodu.

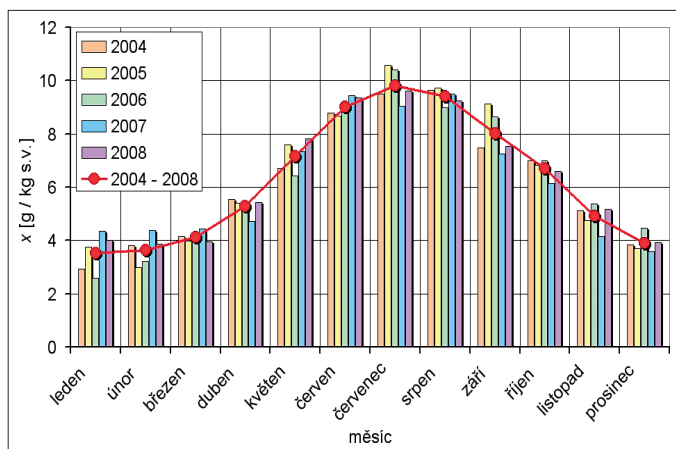
Z grafu na obr. 3 je zřejmé, že např. v lednu, únoru, březnu a srpnu roku 2006 byly teploty pod pětiletým průměrem, zatímco v červenci, září, říjnu, listopadu a prosinci byly nad ním.

Z grafu na obr. 4 je zřejmé, že např. v lednu, únoru, květnu a srpnu roku 2006 byla měrná vlhkost pod pětiletým průměrem, zatímco v červenci, září a prosinci byla nad ním.

2.3 Vyhodnocení stavů vzduchu v h - x diagramu

Pro získání představy četnosti různých stavů vzduchu během vyhodnocovaného období 2004–2008 byly vyneseny naměřené hodnoty do h - x diagramu (z důvodu kapacitního omezení použitého tabulkového procesoru při tvorbě plošných grafů byly použity dvouhodinové odečty). Četnost výskytu je zde reprezentována hustotou bodů v diagramu.

Z h - x diagramu na obr. 5 je například zřejmé, že pro dodržení předepsaných mikroklimatických podmínek nejsou vzácné dny, kdy je teplota v požadovaném rozsahu a není třeba chladit, ale je třeba intenzivně odvlhčovat. Také není neobvyklý stav vzduchu o takové vlhkosti, který by i po ohřátí překračoval požadované parametry, takže je třeba odvlhčovat s následným dohřevem.



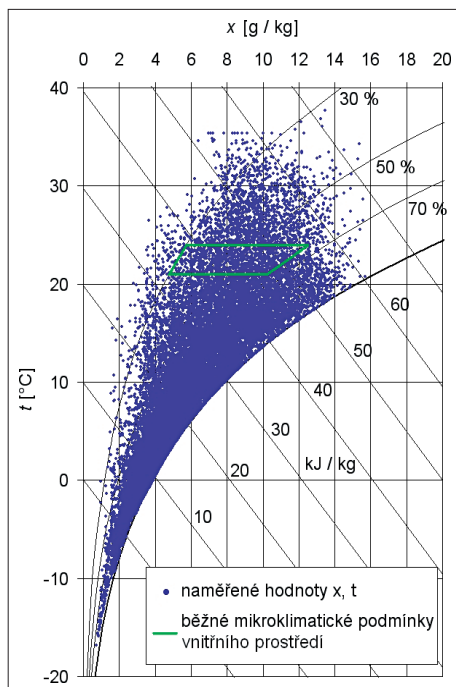
Obr. 4 Porovnání průběhů průměrných měsíčních měrných vlhkostí v letech 2004 až 2008

2.4 Vyhodnocení četností stavů vzduchu

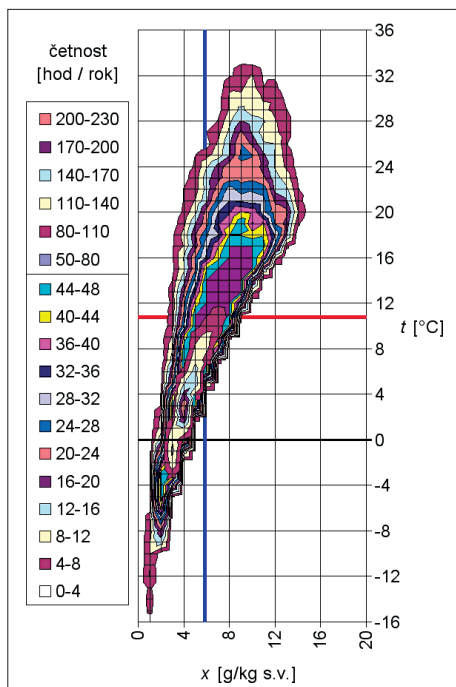
Pro zlepšení vypovídací hodnoty byla četnost stavových dat znázorněna i do vrstevnicové mapy četností. Pro každou půdorysnou plošku o hraně 1 K krát 1 g/1 kg s.v. byla zjištěna průměrná četnost v h/rok. Při výpočtu průměrné hodnoty byly sečteny všechny výskyty hledaných parametrů v letech 2004 až 2008 a poděleny pěti, tj. počtem let sledovaného období.

Protože je velká část hodnot rozprostřena v nejspodnějším pásmu četností, tj. v pásmu 0 až 50 h/rok, je v této vrstevnicové mapě pro toto pásmo použito jemnější dělení.

V grafu na obr. 6 rozděluje medián teplot (červená čára) plochu ohraničenou vrstevnicemi na dvě nestejně části. Z toho je zřejmé, že stejné teplotně vlhkostrany se opakují s vyšší četností při nižších teplotách, zatímco při vyšších teplotách je pokryto jejich širší spektrum s nižšími četnostmi. Obdobně je tomu i ve vztahu k mediánu měrných vlhkostí (modrá čára). Extrém četnosti je v souřadnici $t = 3\text{ °C}$, $x = 4\text{ g/kg s.v.}$ Je zde též zřetelná hranice daná čarou nasycení vzduchu vodními parami.



Obr. 5 Zobrazení odečtených stavů vzduchu za období 2004 až 2008 v h-x diagramu



Obr. 6 Vrstevnicová mapa průměrné četnosti stavů vzduchu za období 2004 až 2008

3. NÁVRHOVÉ PODMÍNKY

Při definování hodnot důležitých pro návrh zařízení, která jsou ovlivňována klimatickými podmínkami, lze velmi dobře vycházet z řady dat kumulativních četností výskytu zvoleného parametru vzduchu tak, jak je definována v ASHRAE Handbook – Fundamentals z roku 1997 [2].

Zařízení by pak z tohoto pohledu měla být rozdělena do skupin, u kterých by mělo být definováno, kolik hodin ročně mohou pracovat v mimolimitních podmínkách.

Z hlediska provozu a splnění mikroklimatických podmínek vnitřního prostředí ve farmaceutickém podniku byly z řady mezi 0,4; 1; 2 a 5 % odpovídající časovému překročení 35, 88, 175 a 438 hodin za rok zvoleny tyto meze pro vybrané stavové veličiny venkovního vzduchu:

- 2 % (tj. 175 hodin/rok) pro kancelářské budovy a nevýrobní provozy
- 0,4 % (tj. 35 hodin/rok) pro výrobní provozy a klimatizované sklady surovin a výrobků a pro teplotu v zimním období i pro kancelářské budovy a nevýrobní provozy
- pro zařízení chlazení serveroven a pro zařízení pro chlazení vody byla z hlediska zabezpečení nenarušitelnosti jejich funkčnosti zvolena zvláštní kriteria, vycházející z extrémních hodnot.

Jako další kritérium je třeba brát platné předpisy a vyhlášky např. vyhlášku č. 6/2003 Sb. [4].

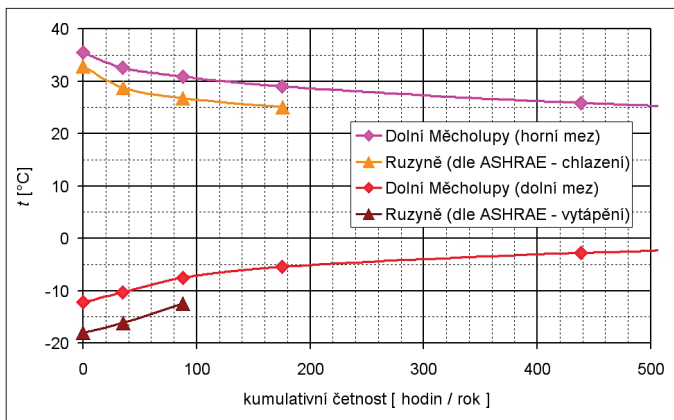
Výsledné návrhové podmínky by pak měly splňovat nejnáročnější z kritérií.

3.1 Grafy kumulativních četností

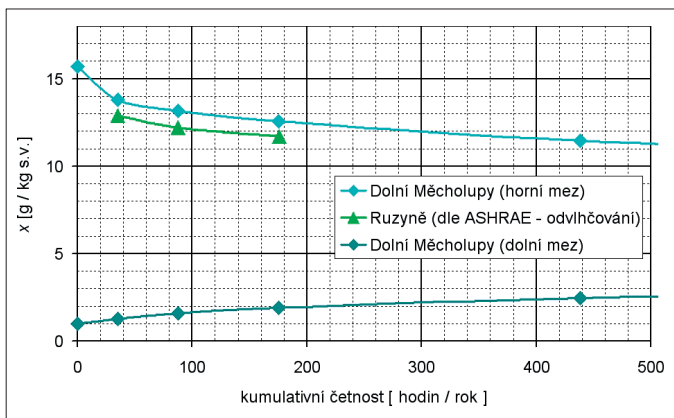
Ze souboru naměřených dat byly spočítány relativní kumulativní četnosti za sledované období 2004 až 2008. Z nich byly určeny průměrné kumulativní četnosti na jeden rok pro návrhové podmínky a vyneseny do jednotlivých grafů. Zároveň do nich byly vyneseny pro srovnání i návrhové podmínky dle ASHRAE Handbook – Fundamentals z roku 1997 [2]. V grafech jsou zvýrazněny hodnoty odpovídající kumulativním četnostem 35, 88, 175 a 438 hodin za rok resp. relativním kumulativním četnostem 0,4; 1; 2 a 5 %.

V podkladech ASHRAE jsou pro Prahu uvedeny návrhové podmínky vycházející z dat z meteorologické stanice Praha – Ruzyně. Při jejich porovnávání se zpracovanými údaji z meteorologické budky v Zentiva – Dolní Měcholupy je třeba vzít v úvahu následující fakta:

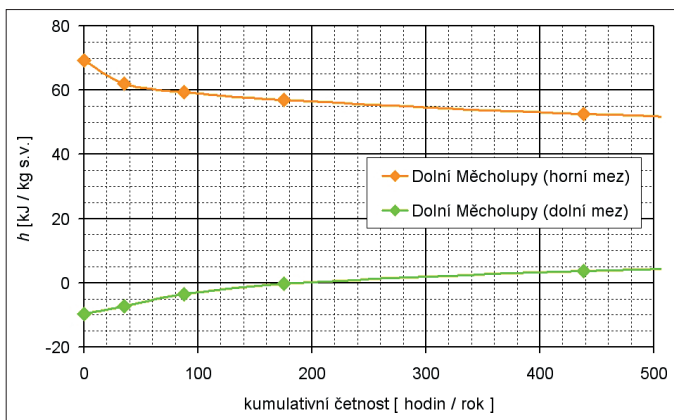
- Vyhodnocované soubory měření jsou z různých období (ASHRAE 1982 až 1993; Zentiva 2004 až 2008)
- Stanice v Ruzyni (na obr. 10 označená modrou značkou s číslem 2) je umístěna o cca 100 m výše než měřící místo v Dolních Měcholupech (označené červenou značkou s číslem 1). Běžně pozorovaný pokles teploty vzduchu se zvyšující se nadmořskou výškou je 0,65 °C/100 m.
- Ruzyně je okrajová čtvrť neprůmyslového charakteru na návětrné rovinaté západní části Pražské plošiny.
- Dolní Měcholupy ve východní rovinaté části Pražské plošiny mají charakter průmyslové zóny a jsou umístěny ve směru převládajícího větru od centra Prahy – převažuje zde městské klima.
- Pro klima měst je narušeno od sídel s nižší hustotou zástavby nebo od volné krajiny charakteristická:
 - vyšší denní i roční průměrná teplota vzduchu (roční o 0,5 až 0,8 °C);
 - nižší relativní vlhkost vzduchu při bezvětří;



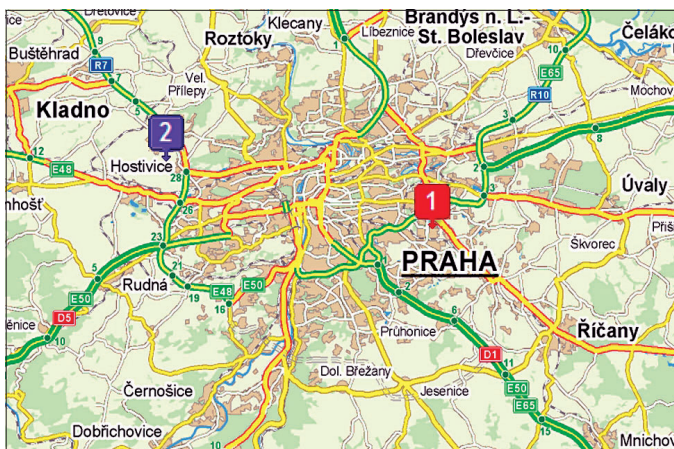
Obr. 7 Graf průměrných kumulativních četností teploty za období 2004 až 2008



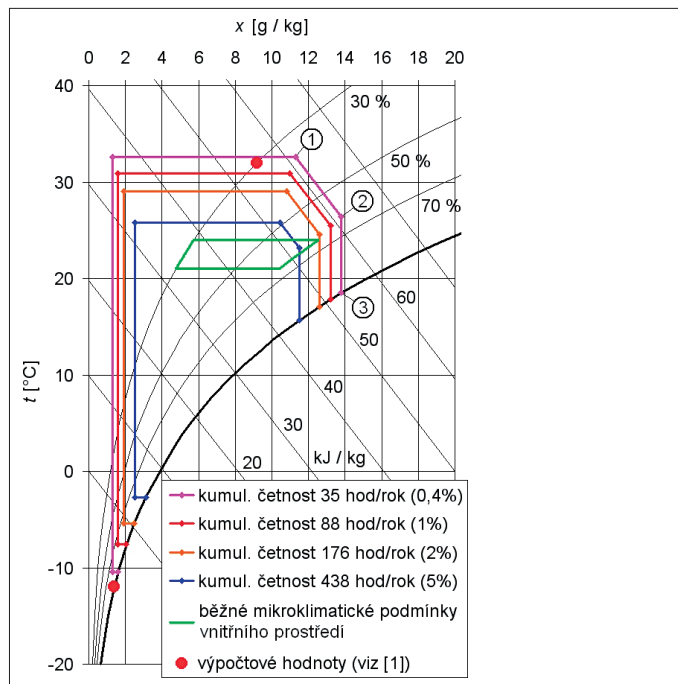
Obr. 8 Graf průměrných kumulativních četností měrné vlhkosti za období 2004 až 2008



Obr. 9 Graf průměrných kumulativních četností entalpie za období 2004 až 2008



Obr. 10 Plánek umístění srovnávaných míst měření



Obr. 11 Zobrazení odečtených stavů vzduchu za období 2004 až 2008 spolu s průměrnými kumulativními četnostmi pro návrh klimatizace v h-x diagramu

- snížená hodnota slunečního záření (o 15 až 20 %);
- vyšší hodnota srážkových úhrnů (o 5 až 10 %). V případě měst s velkou průmyslovou výrobou připadá oblast nejvyšších srážek na oblasti mimo město po směru proudění větru – což je i v Dolních Měcholupích;
- řádově vyšší frekvence mlh;
- v prostředí velkých měst nebo průmyslových aglomerací mohou tepelné zisky z odpadního tepla způsobit vznik tzv. tepelných ostrovů, tj. míst, kde za působení vhodných meteorologických podmínek může být teplota vzhledem k okolí vyšší o několik °C (extrémně až 10 °C);
- v případech přeháněk za teplých slunečných dnů se mohou vyskytnout i podstatně vyšší měrné vlhkosti vzduchu, protože srážky se intenzivněji vypařují na horkém Sluncem osálaném aktivním povrchu Země, který je tvořen i stěnami a střechami staveb, komunikacemi s asfaltovým, betonovým či kamenným povrchem apod. a je ve městě několikanásobně větší než ve volné krajině.

Poznámka: Vyše uvedená klimatologická fakta jsou převzata z [3].

V h-x digramu na obr. 11 jsou řady návrhových hodnot reprezentovány jejich mezemi. Potom plocha každé kumulativní četnosti je vymezena přímkami jejich mezi: horní a dolní teploty, horní a dolní měrné vlhkosti, horní entalpie a čarou horní relativní vlhkosti.

Pro ilustraci je zde vymezena zelenou čarou plocha „běžných mikroklimatických podmínek vnitřního prostředí“. Pro zjednodušení bylo rozmezí teplot zvoleno v rozsahu 21 až 24 °C. Meze vlhkostí vycházejí z hodnot relativních vlhkostí uvedených v tab. 3 Přílohy 1 dle vyhlášky č. 6/2003 Sb., tj. nejméně 30 % a nejvýše 65 % [4].

Pro srovnání jsou v něm znázorněny i běžně používané výpočtové hodnoty pro Prahu [1] jako průsečíky mezi teploty a entalpie resp. teploty a relativní vlhkosti.

Nadmořská výška	260 m
Standardní tlak vzduchu	98 kPa
Výpočtová letní teplota	32 °C

Entalpie 56 kJ / kg s.v.
 Výpočtová zimní teplota -12 °C

Pozn.: Pro zimní poměry se pro výpočty předpokládá 100% relativní vlhkost.

Při porovnání je zřejmé, že uvedené výpočtové hodnoty odpovídají naměřeným bez problémů v zimním období. V letním však vyhovuje naměřeným stavům pouze teplota, zatímco entalpie ne.

3.2 Doporučení pro návrh zimního provozu klimatizace

❑ Z hlediska dimenzování topného výměníku (předehříváče) není v našem případě dolní mezní teplota zvolené průměrné kumulativní četnosti nejpřísnějším kritériem.

To je dáno podmínkou zajistit dodržení přípustných mikroklimatických podmínek s výjimkou mimořádně chladných dní (viz § 3 vyhlášky 6/2003 Sb. [4]). Za mimořádně chladný den se pak považuje den, kdy nejnižší teplota venkovního vzduchu poklesla pod -15 °C.

❑ Pro dimenzování zvlhčovače je určující dolní mez kumulativní četnosti měrné vlhkosti.

3.3 Doporučení pro návrh letního provozu klimatizace

❑ Pro správné dimenzování chladiče klimatizace v letním a přechodových obdobích je vhodné kontrolovat zvolenou kumulativní četnost pro tři mezní stavy venkovního vzduchu. Tyto stavy jsou pro průměrnou kumulativní četnost 35 h/rok (0,4 %) vzorově vyznačeny v obr. 11.

Jedná se o:

1. mezní stav – daný průsečíkem čar horní kumulativní hodnoty teploty a horní kumulativní hodnoty entalpie (zhruba reprezentovaný současnými hodnotami letní výpočtové teploty a entalpie).

Ke splnění podmínek na úpravu vlhkosti v tomto případě stačí neřízené kondenzační odvlhčování, ke kterému dochází při chlazení vzduchu na teplotu předepsaných mikroklimatických podmínek vnitřního prostředí.

Pro případy, kdy není omezena horní hranice vlhkosti mikroklimatických podmínek vnitřního prostředí, stačí dimenzovat klimatizaci pouze podle tohoto mezního stavu.

2. mezní stav – daný průsečíkem čar horní kumulativní hodnoty entalpie a horní kumulativní hodnoty měrné vlhkosti vzduchu.

Při chlazení vzduchu z tohoto bodu dochází ke zvyšování jeho relativní vlhkosti. Splnění požadavků mikroklimatických podmínek na dodržení vlhkosti v tomto případě vede často k řízenému odvlhčování, tzn. v konstrukci klimatizační jednotky k použití sestavy chladič chladič/dohříváče.

3. mezní stav – daný průsečíkem čar horní kumulativní hodnoty měrné vlhkosti vzduchu a horní kumulativní hodnoty relativní vlhkosti vzduchu.

Požadavek splnění podmínek na úpravu vlhkosti vede v tomto případě jednoznačně k řízenému odvlhčování, tzn. v konstrukci klimatizační jednotky k použití sestavy chladič/dohříváče.

Tento mezní stav je určující z hlediska sestavy výměníků jednotky pro případy, kdy je třeba dodržovat horní mez vlhkosti danou mikroklimatickými podmínkami.

Dalším kritériem je podmínka dodržení přípustných mikroklimatických podmínek s výjimkou mimořádně teplých dní (viz § 3 vyhlášky 6/2003 Sb. [4]). Za mimořádně teplý den se pak považuje den, kdy nejvyšší teplota venkovního vzduchu přestoupí 30 °C. Narozdíl od zimního období, nebývá toto kritérium přísnější než meze kumulativních četností.

❑ Pro správné dimenzování dohříváče klimatizace je třeba vycházet z hraniční teploty, při níž dochází v klimatizační jednotce k přepnutí funkce předehřevu na funkci dohřevu a naopak.

V klimatizačních jednotkách s kondenzačním odvlhčováním musí být v provozu dohříváče umístěny za chladičem vždy v případě požadavku na odvlhčování. Jako mez jeho spuštění do provozu lze definovat teplotu rosného bodu, kdy je ještě možné kondenzační odvlhčování, resp. odpovídající střední povrchovou teplotu vodního chladiče. Běžně bývá tato teplota 10 °C. S jistou mírou bezpečnosti lze pak zvolit mez přepínání dohřev/předehřev na 8 °C a podle ní je vhodné dohříváče dimenzovat.

Z energetického hlediska je při kondenzačním odvlhčování nevhodnější dohřívát vzduch pouze na dolní požadovanou teplotní mez zvolených mikroklimatických podmínek vnitřního prostředí.

3.4 Výběr z tabulek výsledků

Do jaké míry jsou tedy mezní kumulativní četnosti směrodatné? Je třeba si uvědomit, že meteorologická budka je zkonstruována tak, aby se v ní daly měřit stavové hodnoty venkovního vzduchu na různých místech Země stejným způsobem a pokud možno bez ovlivnění okolím. Důležité pro posuzování stavů vzduchu je získání celkové představy, v jakých limitech se z hlediska té které tepelné vlhkostní úpravy vzduchu řádově pohybuje její četnost a jaké jsou trendy při denním, měsíčním a ročním průběhu teplot a vlhkostí.

V běžné praxi je často čerstvý vzduch pro vzduchotechnické jednotky nasáván z míst ovlivňovaných okolím: tj. ze střeš, z fasád, z míst, kde jsou technologické zdroje tepla nebo naopak při zemi, mezi porostem, často je veden i zděnými kanály s velkou teplotní i vlhkostní setrvačností

Tab. 1 Statistické hodnoty vybraných veličin během pětiletého období (2004 až 2008)

	<i>t</i>	<i>t_r</i>	<i>x</i> [g/kg s.v.]	<i>h</i> [kJ/kg s.v.]
	[°C]			
Max. hodnota	37,8	21,5	16,7	74,1
Průměrná hodnota	11,0	5,5	6,3	27,0
Min. hodnota	-16,8	-18,7	0,7	-15,1

Tab. 2 Výběr hodnot průměrných kumulativních četností vybraných veličin pětileté období (2004 až 2008)

Relativní kumulativní četnost [%]	Četnost [h/rok] nad danou hodnotou	Četnost [h/rok] pod danou hodnotou	<i>t</i>	<i>t_r</i>	<i>x</i> [g/kg s. v.]	<i>h</i> [kJ/kg s. v.]
			[°C]			
100	0	8770	35,5	20,9	15,7	69,2
99,6	35	8735	32,6	18,5	13,8	62,0
99	88	8682	30,8	17,8	13,2	59,3
98	175	8594	29,0	17,1	12,6	57,0
95	438	8331	25,8	15,7	11,5	52,7
90	877	7893	22,6	14,1	10,4	48,4
80	1754	7016	18,8	11,8	8,9	41,8
70	2631	6139	16,2	9,8	7,8	36,3
60	3508	5262	13,5	7,8	6,8	31,0
50 (medián)	4385	4385	10,8	5,8	5,9	26,3
40	5262	3508	8,3	3,6	5,0	21,5
30	6139	2631	5,5	1,6	4,4	16,9
20	7016	1754	2,9	-0,5	3,8	12,7
10	7893	877	-0,3	-3,2	3,0	7,4
5	8331	438	-2,7	-5,5	2,5	3,8
2	8594	175	-5,4	-8,4	1,9	-0,3
1	8682	88	-7,6	-10,4	1,6	-3,5
0,4	8735	35	-10,3	-13,1	1,3	-7,2
0	8770	0	-12,2	-16,0	1,0	-9,6

Poznámka: Četnost je zde uváděna jako průměrná hodnota vztažená k roku, který měl ve sledovaném období 2004 až 2008 v průměru 365,4 dne tj. (2x 366 + 3x 365/5, tj. celkem 8769,6 h (zde zaokrouhleno na 8770 h).

Tab. 3 Návrhové hodnoty pro lokalitu Zentiva – Praha – Dolní Měcholupy (vycházející z relativních kumulativních četností za období 2004 až 2008)

Návrhová hodnota	Zimní období		Letní období		
	Teplota t [°C]	Měrná vlhkost x [g/kg s.v.]	Teplota t [°C]	Entalpie h [kJ/kg s.v.]	Měrná vlhkost x [g/kg s.v.]
Výrobní provozy a klimatizované sklady	§ 3 vyhl. 6/2003 Sb. -15	§ 3 vyhl. 6/2003 Sb. 1,0	0,4 % (35 h/rok) 32,6	0,4 % (35 h/rok) 62	0,4 % (35 h/rok) 13,8
Kancelářské budovy a nevýrobní provozy	§ 3 vyhl. 6/2003 Sb. -15	§ 3 vyhl. 6/2003 Sb. 1,0	§ 3 vyhl. 6/2003 Sb. 30	2 % (175 h/rok) 57	2 % (175 h/rok) 12,6
Chlazení vody	- 16	-	35	-	-
Chlazení serveroven	- 25	-	40	-	-
Suché chladiče a glykolová ZZT	- 25	-	-	-	-

Tab. 5 Vzorový návrh výměníků pro letní provoz klimatizace

Letní období (pro jmenovitý průtok vzduchu 1000 m ³ /h)	Výměník chlazení povrchová teplota chladiče 10 °C		Výměník dohřevu voda 60/50 °C
	Předaný výkon P_{eh} [kW]	Množství kondenzátu M_k [kg/h]	Předaný výkon P_o [kW]
1. mezní stav - chladič (32,6 °C 62 k /kg)	4,1	1,6	-
	z 32,6 °C, 36 % na 24 °C		
2. mezní stav - chladič (62 kJ/kg/13,8 g/kg)	6,1	4,0	1,3
	z 26,5 °C, 61 % na 17,1 °C		z 17,1 °C, 83 % na 21 °C
3. mezní stav - chladič (13,8 g/kg/100 %)	4,3	4,0	2,3
	z 18,5 °C, 100 % na 14,2 °C		z 14,2 °C, 100 % na 21 °C
Přepínání dohřev/předehřev (8 °C/100 %)	-		4,4
			z 8 °C, 100 % na 21 °C

atd. Proto lze brát předkládané výsledky kumulativních četností pro určení jmenovitých hodnot pro dimenzování prvků VZT jednotek především pro letní období jako primární, ale je třeba zvážit případné korekce i z dalších hledisek.

3.5 Vzorový návrh

V tomto vzorovém návrhu se vychází z předpokladu, že navrhovaná klimatizační jednotka pro výrobní provozy upravuje pouze přiváděný čerstvý vzduch na zvolené parametry. Tepelné a vlhkostní zátěže vnitřního prostředí nejsou v tomto příkladu řešeny.

Návrhové hodnoty venkovního vzduchu:

Jsou použity dle tab. 3 – řádek: výrobní provozy a klimatizované sklady

Návrhové mikroklimatické podmínky vnitřního prostředí

nastavená teplota pro předehřev (resp. dohřev)	21 °C
nastavená teplota pro chlazení	24 °C
nastavená relativní vlhkost pro zvlhčování	30 %
nastavená relativní vlhkost pro odvlhčování	65 %

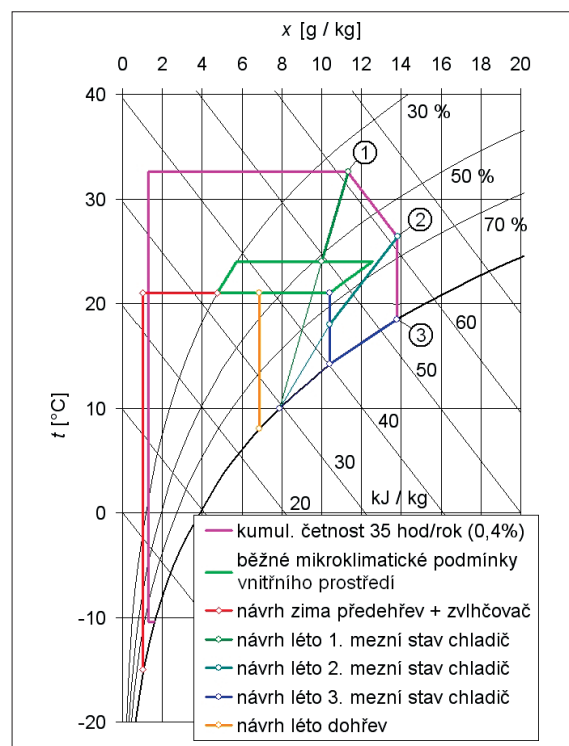
Z tab. 5 je zřejmé, že 2. mezní stav je v tomto případě určující pro dimenzování chladiče. 3. mezní stav pak slouží pro kontrolu dimenzování navrženého chladiče, zda je schopen předat požadovaný chladič výkon i při menších teplotních spádech mezi chladičící vodou a vzduchem.

Vypočtené výkonové parametry by měly být ještě korigovány s přihlédnutím k následujícím faktorům:

- k rezervě výkonu na případné změny v požadavcích na průtok dodávaného vzduchu;

Tab. 4 Vzorový návrh výměníku a zvlhčovače pro zimní provoz klimatizace

Zimní období (pro jmenovitý průtok vzduchu 1000 m ³ /h)	Výměník předehřevu voda 70/50 °C	Parní zvlhčování
	předaný výkon P_o	množství páry M_p
Mimořádně chladný den (-15 °C/100 %)	12,1 kW	4,5 kg/h
	z - 15 °C, 100 % na 21 °C	z 1,05 na 4,8 g/kg s.v.

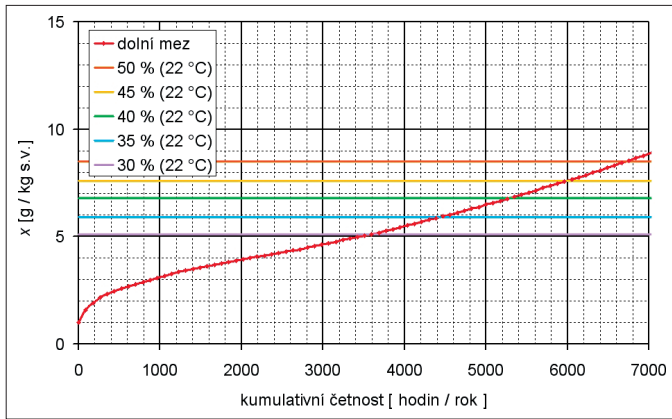


Obr. 12 Vzorová konstrukce úpravy vzduchu v h-x diagramu

- k rezervě výkonu na nepřesnost zaregulování vzduchových výkonů (většinou do 15 % objemového průtok vzduchu);
- k účinnosti výměníků a ke snížení, způsobenému jejich běžným provozním znečištěním a zanesením na straně vody i vzduchu (dle informací od výrobce);
- k rezervě na bezpečné zajištění požadovaných parametrů nepřesností při odchylkách způsobených vlastnostmi regulačního systému, jako jsou necitlivost regulátoru, regulační odchylka atd. a při odchylkách způsobenými nepřesnostmi řídicích čidel, převodníků a vlastnostmi vodičů (alespoň 1 K a 5 % relativní vlhkosti);
- ke snížení účinnosti parního zvlhčovače způsobené kondenzací vyvíjené páry v parním potrubí mezi vyvíječem a VZT jednotkou a v parních distribučních trubcích, velikostí odkalování v závislosti na kvalitě vody atd. (dle doporučení výrobce);
- při chlazení přihlédnout k oteplení způsobenému motorem ventilátoru umístěným v jednotce VZT (lze zahrnout do jiných bodů).

4. VYHODNOCOVÁNÍ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI

Pro určení energetické náročnosti vlhkostních úprav vzduchu lze přistoupit např. z pohledu potřeby množství vody, kterou je třeba za sledované období do vzduchu odpařit resp. z něj zkondenzovat. Je zřejmé, že záleží na požadovaných parametrech (tj. teplotě a relativní vlhkosti) výsledného upraveného vzduchu. Následující text vychází z některých zjednodušení. Naznačuje však cestu k vyhodnocení energetické náročnosti vlhkostní úpravy čerstvého vzduchu. Je zde popisován nepřetržitý provoz klimatizace.



Obr. 13 Graf průměrné kumulované četnosti pro zvlhčování

4.1 Zvlhčování

Pro přímou vazbu mezi energetickou náročností a zvlhčováním je vhodné zvolit vyšetřování stavů měrnou vlhkostí.

Na obr. 13 je znázorněna část grafu kumulované četnosti měrné vlhkosti venkovního vzduchu za období 2004–2008 vztážená k období 1 roku – zjednodušeně průměrné kumulované četnosti. Tato část grafu zahrnuje oblast zvlhčování. Z grafu na obr. 13 lze odečíst, kolik hodin v roce bylo třeba zvlhčovat na požadovaný stav vzduchu. Do grafu jsou vyneseny vybrané měrné vlhkosti odpovídající řadě relativních vlhkostí při 22 °C. Velikost plochy vymezená křivkou kumulované četnosti, přímkou zvolené výsledné měrné vlhkosti a osou y grafu je pak úměrná energetické náročnosti zvlhčování.

Výsledná statistická veličina má rozměr součinu hodin s množstvím odpařené vody v g vztáženém ke kilogramu upravovaného suchého vzduchu. Je typově obdobná denostupňům užívaným k hodnocení otopného období. Označme ji jako intenzitu zvlhčování $X_{t,\varphi,z}$ [g h/kg s.v.], kde t [°C] a φ [%] jsou parametry výsledného vzduchu a z je index zvlhčování.

K její výsledné hodnotě lze dojít součtem četností trvání všech rozdílů mezi okamžitou hodnotou měrné vlhkosti venkovního vzduchu a požadovanou hodnotou při zvlhčování za sledované období.

Pro praktické použití je však výhodná veličina, která přímo zobrazí velikost energie nutné ke zvlhčení vztáženého průtoku vzduchu např. 1000 m³/h za sledované období. Označme ji jako energetickou náročnost zvlhčování $E_{1000,t,\varphi,z}$ [kWh/(1000 m³/h)].

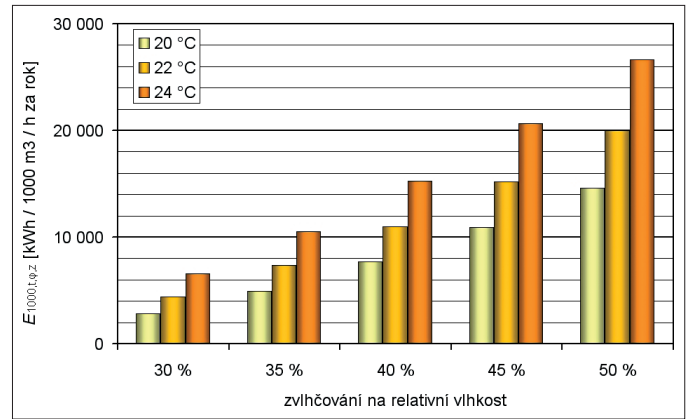
$$E_{1000,t,\varphi,z} = k_z \cdot \rho \cdot X_{t,\varphi,z} \quad (1)$$

kde
 ρ [kg / m³] je hustota výsledného vzduchu a
 $k_z = 0,75$ [kW/kg vypařené vody] – konstanta měrného příkonu zvlhčování (používaná výrobci parních zvlhčovačů).

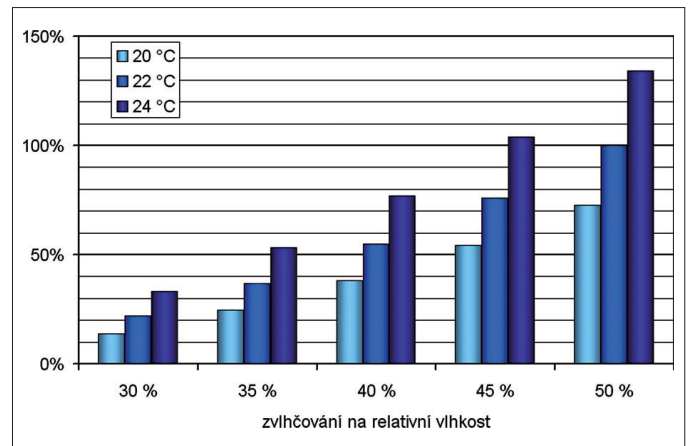
Potom prostým vynásobením energetické náročnosti zvlhčování $E_{1000,t,\varphi,z}$, ceny energie a průtoku upravovaného čerstvého vzduchu dostaneme náklady na energii pro zvlhčování.

Pro úpravu čerstvého vzduchu slouží k získání představy vztahu energetické náročnosti zvlhčování na jeho požadovaných výsledných parametrech graf na obr. 14. Podklady pro tento graf jsou zpracovány průměrnou kumulovanou četností měrné vlhkosti pro zvlhčování. Z důvodu většího zobecnění problematiky byl vypočten za období 2004 až 2008.

Z grafu na obr. 14 je zřejmé, že energetické nároky na zvlhčování jsou velmi závislé nejen na relativní vlhkosti, ale i na zvolené výsledné teplotě.



Obr. 14 Graf energetické náročnosti pro zvlhčování v závislosti na požadovaných výsledných parametrech vzduchu



Obr. 15 Graf náročnosti zvlhčování v závislosti na požadovaných výsledných parametrech vzduchu

Pro lepší názornost byly tyto údaje přepočítány i poměrovou formou, kdy jako základ (100 %) byla zvolena hodnota energetické náročnosti zvlhčování pro teplotu vzduchu 22 °C a relativní vlhkost 50 %.

4.2 Odvlhčování

V případě kondenzačního odvlhčování lze při vyhodnocování energetické náročnosti odvlhčování čerstvého vzduchu postupovat obdobně jako při zvlhčování.

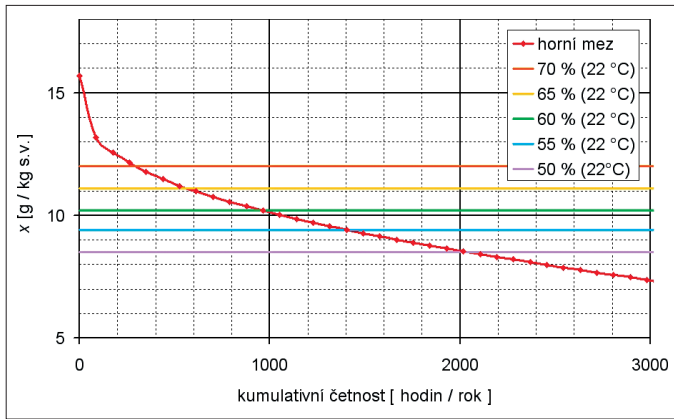
Množství zkondenzované vody a energetická náročnost kondenzačního odvlhčování však nemají vždy lineární závislost (narozdíl od zvlhčování). K náročnosti kondenzačního chlazení navíc přistupuje i energetická náročnost dohřevu. Vyhodnocení závisí na požadovaných parametrech výsledného vzduchu, na typu odvlhčování (zda se jedná o neřízené či řízené odvlhčování) a na povrchové teplotě chladiče.

Z grafu na obr. 16 lze odečíst, kolik hodin v roce bylo třeba odvlhčovat na požadovaný stav vzduchu. Do grafu jsou vyneseny vybrané měrné vlhkosti odpovídající řadě relativních vlhkostí při 22 °C.

Pro lepší názornost byly údaje o množství zkondenzované vody přepočítány poměrovou formou, kdy jako základ (100 %) byla zvolena hodnota množství zkondenzované vody při odvlhčování pro teplotu výsledného vzduchu 22 °C a relativní vlhkost 50 %.

Doporučené zásady pro vlhkostní úpravy vzduchu:

- ☐ Volba požadované teploty a vlhkosti – na základě výše uvedených skutečností je zřejmé, že z hlediska energetické náročnosti je při ná-



Obr. 16 Graf průměrné kumulované četnosti pro odvlhčování

vrhu klimatizace bezpodmínečně nutná kritická rozvaha požadovaných podmínek vnitřního mikroklimatu.

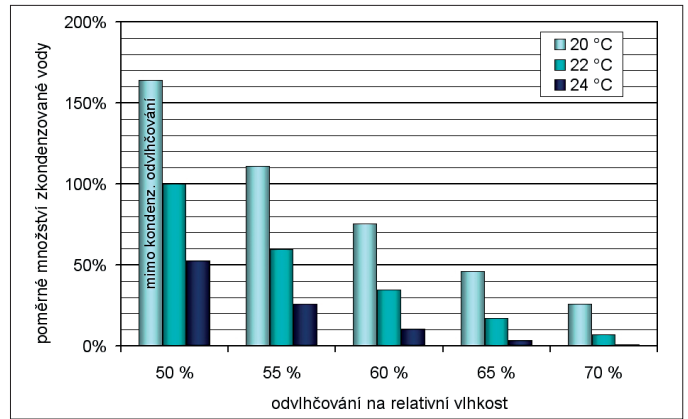
- ❑ Volba řídicí hodnoty teploty a vlhkosti – je třeba definovat, zda nastavení řízení má vycházet přímo z teplot a vlhkostí požadovaných podmínek vnitřního mikroklimatu nebo má být použita jistá bezpečnost daná vlastnostmi řízení a čidel, aby za žádných okolností nebyly tyto podmínky překročeny.
- ❑ Volba optimálního průtoku přiváděného vzduchu.
- ❑ Správná volba přesnosti a pravidelná kontrola a kalibrace řídicích čidel a celého řídicího řetězce. Vlhkostní čidla jsou totiž velmi citlivá na znečištění. Náklady na nesprávný chod jsou podstatně vyšší než na preventivní kontroly.
- ❑ Správné umístění řídicích čidel (například dodržení doporučených vzdáleností od distributoru zvlhčovače) je podmínkou k zamezení výskytu systematické chyby, která kvůli nesprávnému chodu velmi zvyšuje náklady na provoz.
- ❑ Vyladění regulace, jejich pásem necitlivosti, regulačních odchylek, správné nastavení integračních konstant PI regulace.
- ❑ Zavedení útlumových režimů s vypínáním zvolených jednotek, omezením průtoku vzduchu, rozšiřováním pásem proporcionality regulovaných teplot a vlhkostí šetří výrazně náklady na provoz.
- ❑ Průběžné kontroly správného chodu klimatizačních jednotek srovnáváním s chodem obdobných zařízení ve stejném okamžiku.
- ❑ Co nejkratší přívod a dodržení spádů parních hadic mezi distributorem a zvlhčovačem.
- ❑ Vyřešení neustálého kvalitního odvodu kondenzátu, zajištění dostatečně dimenzovaného sifonu a správná funkce eliminátoru kapek je podmínkou správné funkce a účinnosti odvlhčování.

ZÁVĚR

Hodnoty naměřené v jiných místech republiky se podle všeho nebudou radikálně lišit od hodnot naměřených v Praze – Dolních Měcholupech. Proto lze některé úvahy a postupy zevšeobecnit.

Nároky na kvalitu a dodržení vnitřního prostředí se v poslední době zpřísnily. Pro jakostní návrh klimatizačních jednotek je třeba vycházet z aktuálních podkladů. Bohužel v současné době již často nelze plně vystačit s více jak 30 let starými návrhovými hodnotami, které publikoval J. Chyský. Proto by bylo vhodné, aby byly pro projektanty volně dostupné potřebné reprezentativní průměrné kumulativní hodnoty stavových hodnot venkovního vzduchu alespoň pro jednotlivé regiony.

Na základě výše uvedených skutečností je zřejmé, že z hlediska energetické náročnosti je při návrhu klimatizace bezpodmínečně nutná kritická rozvaha požadovaných podmínek vnitřního mikroklimatu.



Obr. 17 Graf poměrného množství zkondenzované vody při odvlhčování v závislosti na požadovaných výsledných parametrech vzduchu

K tomu by měly směřovat i závazné předpisy, které by měly spíš vycházet z požadavku splnění předepsaných vnitřních podmínek v závislosti na určení povoleného počtu hodin, po který mohou být překročeny, a v závislosti na typu použití.

Seznam veličin

- $E_{1000,t,\varphi,z}$ energetická náročnost zvlhčování vztažená k průtoku vzduchu [kWh/(1000 m³/h)]
- h entalpie vzduchu [kJ/kg suchého vzduchu]
- k_z konstanta měrného příkonu zvlhčování [kW/kg vypařené vody]
- M hmotnostní průtok [kg/h]
- P výkon [kW]
- t teplota [°C]
- x měrná vlhkost vzduchu [g/kg suchého vzduchu]
- $X_{t,\varphi,z}$ intenzita zvlhčování [g/kg s.v.]
- φ relativní vlhkost vzduchu [%]
- ρ hustota suchého vzduchu dané teploty [kg/m³]

Indexy

- ch chlazení
- k kondenzát
- o ohřev
- r stav při teplotě rosného bodu
- t teplota [°C]
- v vypařené
- z zvlhčování
- φ relativní vlhkost vzduchu [%].

Poděkování

Naměřená data, sloužící jako podklad pro statistické zpracování hodnot uvedených v tomto příspěvku, byla použita s laskavým svolením firmy Zentiva k.s.

Kontakt na autora: m.pechar@volny.cz.

Použité zdroje:

- [1] CHYSKÝ, J. *Vlhký vzduch*. Praha: SNTL, 1977, 160 s., 2. upravené a doplněné vyd.
- [2] PTÁKOVÁ, D. *Návrhové klimatické podmínky pro Českou republiku dle ASHRAE*. TZB info: Podklady pro projektanty, 2000. Dostupný z www: <http://vet-rani.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=326>
- [3] VYSOUDIL, M. *Meteorologie a klimatologie*. Olomouc: Univerzita Palackého, 2006., 281 s., 1. vydání. ISBN 80-244-1455-4
- [4] Vyhláška č. 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb (platnost od 1.7. 2003 resp. od 1. 1. 2005). ■