

Zlepšení ekonomie větrání v komerčních budovách

Improvement of ventilation economy in commercial buildings

Ing. Jaroslav WURM, Ph.D.,
Gas Technology Institute, (Retired),
M. Czachorski, Gas Technology
Institute, Des Plaines, IL, USA

Pro mnohá komerční a průmyslová zařízení mohou provozní náklady, spojené s požadovanou intenzitou větrání, představovat mimořádnou finanční zátěž. Jednou z možností jak tyto náklady redukovat je kombinace běžně používaných zařízení pro úpravu dodávaného vzduchu, (tj. zařízení pro ohřev, větrání a chlazení) se zařízením pro zpětné získávání tepla i vlhkosti a zařízením odvlhčovacím. Tato zařízení, ať už pasivní (entalpické výměníky) či aktivní (odvlhčování) snižují energetickou zátěž na základní systémy pro kontrolu prostředí (HVAC zařízení), redukuje tak jejich velikost a snižují celkové provozní náklady. Potenciální úspory a návratnost systému je však nutné řešit případ od případu a s přihlédnutím k hodinové charakteristice provozu. Používat proznych průměrů vede k mylným informacím.

Klíčová slova: větrání, zpětné získávání tepla, rotory, odvlhčování

Recenzent
prof. Ing. Karel Hemzal, CSc.

For many commercial and industrial plants, maintaining required ventilation rates can result in a significant operating cost. Fortunately, passive (i.e. enthalpy exchangers) and active (dehumidifying) desiccant systems can be used to reduce the load on the HVAC equipment and reduce its operating cost. The potential cost savings and return on investments have to be assessed individually for each application and solved on an hourly basis. It was found that using average conditions of climate and energy costs data and simplified load characteristics for such an evaluation can lead to a false application conclusion.

Key words: ventilation, heat recovery, rotors, dehumidifying

Možnost efektivního použití rotačních regenerativních výměníků pro zvýšení účinnosti systémů zabezpečujících nucené větrání prostorů budov pro zajištění pohody prostředí je detailně dokumentována např. v literatuře [1] a v dokumentech v této referenci uvedených.

Je důležité si připomenout, že stejná, či podobná zařízení nejsou limitována jen pro toto použití, ale mohou být výhodně aplikována pro jiné komerční a průmyslové procesy. Speciálně jde o zařízení s funkcí odvlhčovací, ať už u procesu entalpického či čistě desikačního přenosu vlhkosti. Tento aspekt víceúčelového použití je zvláště důležitý z výrobního a cenového hlediska.

Pro komerční budovy se odvlhčení ukazuje jako ekonomické řešení zajištění kvality prostředí v několika aplikacích. Platí to zvláště pro případy zvyšování lidské pohody, zdraví a produktivity v instalacích, kde je možno využít pro aktivaci desikantu odpadního tepla s minimální teplotou od 60 °C výše (viz. obr. 1 a 3). Alternativním zdrojem energie může být i plyn v případě jeho ceny zvýhodněné vůči elektřině. Jedno takové řešení se nabízí v kombinaci s elektrickým generátorem poháněným plynovým motorem.

V porovnání, více známá a používaná zařízení pasivní, (tj. výměníky entalpické, viz obr. 2), pracují v rámci větrání jako rekuperátory chladu, či tepla a vlhkosti, bez možnosti podstatně ovlivnit vlhkost a tedy pohodu prostředí. Jejich pořizovací náklady jsou však podstatně nižší, až poloviční v porovnání s cenou zařízení odvlhčovacích. Navíc nevyžadují vnější energii k regeneraci.

Tato oboje zařízení mohou najít uplatnění i v evropském klimatu, zvláště pak v aplikacích s dlouhodobým provozem jako jsou nemocnice či jiná zdravotnická zařízení, hotely a školy. Pro navrhovatele takového uplatnění je nutné zdůraznit, že musí být vyhodnocena zvláště pro každý případ a v hodinových intervalech ročního provozu. Zmíněná zařízení se běžně používají v průmyslových procesech (sušení). Současně se začala úspěšně uplatňovat jako součást klimatizace na zimních stadionech a v nákupních střediscích.

Je zde nutno podotknout, že rotační odvlhčovací výměník se do určité míry liší konstrukčně od rotorů používaných jako kola entalpická. Zatímco entalpické rotory pracují efektivně s hmotností desikantu okolo 20 % hmotnosti nosné struk-

tury, provoz odvlhčovacích rotorů vyžaduje zvýšené množství sorbentu. Současná technologie výroby takových struktur využívá až 60 % desikantu (s výjimkou LiCl).

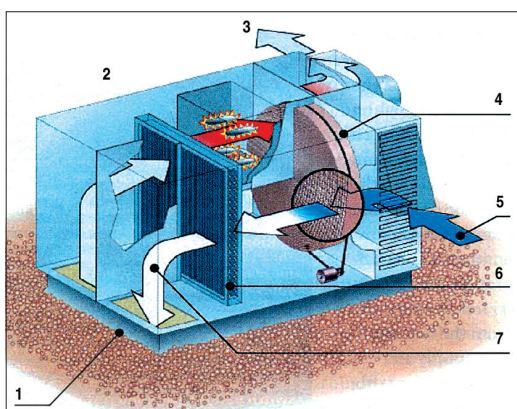
Tato kola dosahují vysokých účinností vysoušení při malé tlakové ztrátě (přibližně 120 Pa). Používají se pro vysoušení až do rosného bodu -40 °C a v normálním teplotním rozsahu snižují měrnou vlhkost o 7 až 10 g/kg. Velmi zajímavou se stává jejich ko – sorpční funkce při vázání CO₂ z dodávaného vzduchu. V současné době tyto rotory vyrábí 5 světových firem jako nezanedbatelnou část své produkce.

FUNKČNÍ POROVNÁNÍ AKTIVNÍCH A PASIVNÍCH SYSTÉMŮ

Porovnání provozních charakteristik uvažovaných systémů byla v poslední době věnována v technické literatuře zvýšená pozornost [2]. Je to přímý důsledek pokroku v kvalitě nabízených výrobků a snižování jejich pořizovacích nákladů, dále požadavků na úsporu energie a na zvýšenou kvalitu prostředí (IAQ), a v neposlední řadě pronikáním potenciálu těchto relativně nových zařízení do vědomí projektantů a investorů.

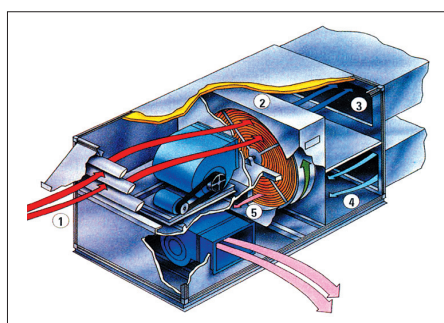
Z hlediska porovnání současného stavu aplikací entalpických (pasivních) a odvlhčovacích (aktivních) rotačních výměníků na světovém trhu vyhrávají entalpická kola. V mnoha aplikacích však systémy aktivního odvlhčování, (tj. čistě latentní výměna odvlhčovacím výměníkem) mají řadu předností (viz shrnutí v tab 1). Jejich důležitou předností je, že vysušují dodávaný vzduch za všech atmosférických podmínek, bez ohledu na vlhkost nahrazovaného vzduchu. Dále, mohou být aktivovány vnějším, nikoliv vnitřním, odpadním vzduchem, což umožňuje větší flexibilitu instalací, protože nahrazovaný vzduch nemusí být veden přes odvlhčovací jednotku. Pro jejich regeneraci je však třeba tepelná energie z externího zdroje.

Při použití pasivního odvlhčování (tj. při výměně entalpie) je stupeň odvlhčení menší než v předcházejícím případě a je přímo závislý na vlhkosti vzduchu odváděného z větraného prostoru, která je tak důležitou částí hybné síly přestupu hmoty. Vnější energie pro tento proces není potřeba.



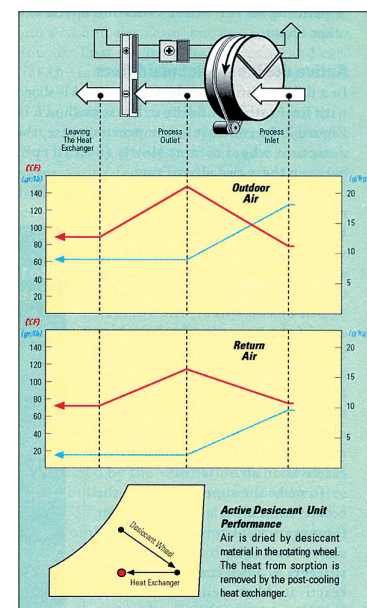
Obr. 1 – Schéma typického uspořádání systému aktivního odvlhčování větracího vzduchu (viz. obr. 3 pro typický průběh teplot a vlhkostí přiváděného vzduchu)

1 – reaktivací vzduch, 2 – přídavné teplo pro reaktivaci odvlhčovacího rotoru, 3 – odvádění vlhký reaktivací vzduch, 4 – odvlhčovací rotor (latentní ochlazení), 5 – vlhký vnější vzduch, 6 – výměník tepla (citelné ochlazení), 7 – suchý, teplotně upravený větrací vzduch



Obr. 2 – Pasivní odvlhčovací rotor ve ventilačním uspořádání. Vnitřní vzduch je použit k částečnému ochlazení a odvlhčení větracího vzduchu (letní provoz). U zimního provozu přebírá větrací vzduch část citelného a latentního tepla vzduchu odváděnému.

1 – přívádění teplý a vlhký vnější vzduch, 2 – kazeta s pasivním rotorem, kterému se předává část citelného a latentního tepla, 3 – sušší a chladnější větrací vzduch vycházející z pasivního rotoru, 4 – relativně suchý a chladný vzduch z větracího prostoru přebírá vlhkost a teplo z rotoru, 5 – teplý a vlhký vzduch odváděný do vnější atmosféry



Obr. 3 – Typický průběh teplot a vlhkostí větracího vzduchu pro případy ventilačního či recirkulačního uspořádání.

1 – vnější vzduch, 2 – recirkulační vzduch, 3 – procesy aktivní odvlhčovací jednotky v Mollierově diagramu: vzduch se vysouší desikačním materiálem rotoru. Sorpční teplo se odvádí ve výměníku tepla.

Tab. 1 Shrnutí výhod a omezujících ukazatelů při aplikaci pasivních a aktivních odvlhčovacích systémů

Pasivní systémy
Výhody
☐ šetří citelné a latentní teplo; ☐ redukuje náklady na zvlhčování v zimě; ☐ redukuje náklady na chlazení v létě; ☐ nepotřebují energii na reaktivaci.
Omezení
☐ nahrazovaný vzduch musí být přiváděn do místa v systému s rotorem; ☐ nahrazovaný vzduch musí být zbaven nežádoucích příměsí (mastnot); ☐ odvlhčují jen je-li nahrazovaný vzduch sušší než vzduch přiváděný; ☐ při pomalých otáčkách rotoru (pro zamezení přehřátí místnosti) odvlhčení přestává (velká vlhkost, teplota > ~ 24 °C vnějšího vzduchu).
Aktivní systémy
Výhody
☐ umožňují kontrolu vlhkosti v létě bez ohledu na vnější podmínky; ☐ snižují spotřebu elektrické energie na odvlhčení a chlazení větracího vzduchu; ☐ snižují kondenzaci a výskyt plísní ve vzduchovodech; ☐ zvyšují účinnost chladicího zařízení (vyšší výpařovací teplota); ☐ umožňují použití alternativních způsobů chlazení; ☐ zmenšují velikost vzduchotechnického zařízení.
Omezení
☐ vyšší pořizovací náklady než pro klimatizační jednotku bez kontroly vlhkosti; ☐ výhodné provozní náklady hlavně u velkých budov s centrální klimatizací; ☐ provozní výhody se projeví hlavně tam, kde lze použít odpadního tepla či levného zdroje (zemního plynu).

PŘÍKLAD EKONOMICKÉHO POROVNÁNÍ

Následující příklad ekonomického vyhodnocení použití aktivních a pasivních systémů je převzat ze studií v Gas Technology Institute. Tyto studie se přirozeně vztahovaly na americký trh, celková metodika a závěry však ukazují směr postupu vyhodnocení, který má platnost i pro evropské poměry. Příklad použití tří typických uspořádání systému úpravy vzduchu pro přízemní nákupní středisko o rozloze 7 435 m², umístěné v Miami na Floridě, byl vybrán také proto, že

představuje klima, kde nutnost kontroly vlhkosti je velmi zřetelná. Základní provozní a fyzikální parametry pro tuto aplikaci jsou uvedeny na obr. 4.

Parametry pohody prostředí	Základní systém	Alternativní systém	Provozní doba
Teploty při chlazení provoz/mimo provoz	~ 24/27 °C	~ 24/27 °C	Pondělí až sobota 6 až 24 h Neděle/svátky 7 až 22 h
Vytápění provoz/mimo provoz	~ 22/16 °C	~ 22/16 °C	Nákupní středisko ↑ sever
Maximální vlhkost	60 %	60 %	Zasklená plocha 8 %. Celá plocha vyzařuje kontrolu vlhkosti.
Minimální vlhkost	30 %	30 %	
Vnitřní zátěž/větrání			
Zátěž osob			9,3 m ² /osobu
Osvětlení			25 W/m ²
Ostatní el. zátěž			2,7 W / m ²
Infiltrace			0,3 výměn vzduchu/h
Větrání			0,091 / (m ³ /min)/m ² = 5,46 (m ³ /h)/m ²

Obr. 4 – Základní provozní a fyzické parametry jednopodlažního nákupního střediska

Zmíněné tři aplikované systémy jsou schematicky znázorněny na obr. 5, 6 a 7. Schéma na obr. 5 přitom představuje základní systém, který slouží k porovnání účinnosti a provozu tohoto zařízení kombinovaného s rotorem/výměníkem entalpickým (obr. 6) a zařízením odvlhčovacím (obr. 7). Základní systém je standardní nástřešní jednotka s přímou expanzí (DX). Každý ze tří systémů reguluje vlhkost prostředí tak, aby relativní vlhkost pokud možno nepřestoupila 60 %.

Projekční vyhodnocení základního uspořádání chlazení a vytápění objektu nejdříve určilo nutnou výkonnost těchto energetických zařízení: 963 kW chladicího výkonu a 375 kW pro otopný systém. Redistribuce zátěže při použití kombinaci s entalpickým výměníkem a odvlhčovacím zařízením ukázala možnost redukce těchto výkonů, či velikostí základního chladicího a otopného systému na 671 a 216 kW instalovaného výkonu. Toto podstatné snížení velikostí (a tedy i investic) vzniká při chlazení díky přesunu latentní zátěže na alternativní zařízení a při vytápění díky snížení požadavků na tepelný výkon nahrazený šetře-

ním citelného a latentního tepla při použití naznačených alternativ. Instalovaný výkon a roční spotřeba elektrické energie jsou uvedeny v tab. 2. Pokud jde o spotřebu elektrické energie na produkci a rozvod chladu a tepla, úspora 15, respektive 22 % je vítaným kladem alternativních uspořádání. Jak ukazuje třetí sloupec, spotřeba topného plynu však výrazně narůstá pro systém s aktivním odvlhčovacím zařízením. Na provozních nákladech (roční cena spotřeby elektrické energie a plynu) není tento nárůst zanedbatelný (viz tab. 2).

Pro konečné posouzení efektivnosti použití navrhovaných alternativ je kromě kapitálových investic a provozních nákladů třeba zvážit i otázku pohody prostředí. Kvalita dodávaného vzduchu není v dnešních poměrech zanedbatelná, neboť se významně podílí na zdraví a produktivitě lidí v kontrolovaném prostoru přítomných a na efektivnosti ovlivňovaných procesů. Z tohoto hlediska je, např. důležité porovnat jeden z významných parametrů pohody prostředí, kterým je doba s relativní vlhkostí ve vyhodnocovaném prostoru nad 60 %. Pro náš případ je tento parametr uveden jako poslední v tab. 2.

Tab. 2 Přehled spotřeby energie a nákladů a dosaženého stupně odvlhčení tří porovnávaných alternativ

Alternativa	DX	DX + Ent.	DX + Des.
Instalované výkony v [kW]			
Chlazení	963	671	
Vytápění	375	216	
Roční spotřeba elektřiny			
[MWh/r]	2665	2259	2090
[%]	100	85	78
Roční spotřeba plynu			
[MWh/r]	1203	678	1357
[%]	100	58	154
Roční náklady na plyn a elektřinu [USD]			
Plyn	27 200	15 465	29 994
Elektřina	172 376	146 184	136 923
Celkem	199 576	161 649	166 917
[%]	100	81	83
Počet provozních hodin při RH > 60 %			
[h/r]	2872	2344	34

Poznámka:

použité ceny energií – zemní plyn \$ 0,02253/kWh, – elektřina \$ 0,064/kWh.

ZÁVĚR

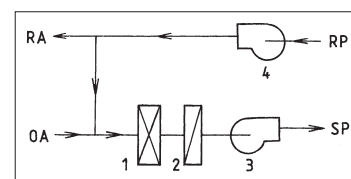
Studie tohoto druhu jednoznačně ukázaly, že při posouzení vhodnosti použití entalpických výměníků či odvlhčovacích zařízení nelze generalizovat. Roční provoz alternativ musí být posuzován v hodinových intervalech v rámci klimatických podmínek a změn v cenách energií a pokud možno s odpovídající skutečnou charakteristikou zařízení.

Pro projektanty je důležité vědět, že existují počítačové programy, které taková vyhodnocení umožňují. Předběžná rozhodnutí však mohou být usnadněna výsledky prací, které naznačují směr výhodných použití pro případy, kdy:

- provozní doba je maximální, tj. téměř trvalá;
- klimatické podmínky, či provoz představují vysokou vlhkost;
- cena reaktivační energie (pro případ aktivních systémů) je minimální (je možno použít odpadního tepla);
- cena elektrické energie je relativně vysoká, např. více než 3x vyšší než plynu.

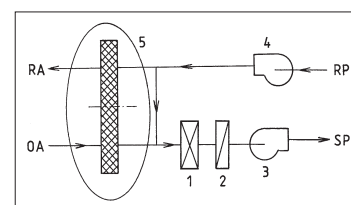
Použité zdroje:

- WURM, J., KOSAR, D., CLEMENS, T.: „Solide Desiccant Technology Review“, Bulletin of the IIR, No. 2002–3, str. 3–31, vydáno v dubnu 2002.
- GENATH, B.: „Neue Bezugsgrösse zur Beschreibung der Effizienz von Rotation-swärmetauscher“, Heizung Lüftung Klimatechnik, No. 5/2003, str. 50–53.
- Hemzal, K.: ZT – Známe principy v nových aplikacích. Sborník přednášek z konference Klimatizace a větrání 2004, s. 147–152.



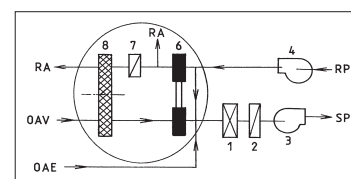
Obr. 5 – Základní systém DX s dohříváním čerstvého vzduchu

1 – chladič, 2 – ohříváč, 3 – přiváděcí ventilátor, 4 – odváděcí ventilátor (Společná legenda k obr. 5, 6, a 7): RA – odpadní vzduch, OA – venkovní vzduch, RP – odvod z prostoru, SP – přívod do prostoru



Obr. 6 – Systém DX s dohříváním kombinovaný s entalpickým výměníkem (DX + Ent.)

5 – entalpické kolo



Obr. 7 – Systém DX s dohříváním kombinovaný se zařízením odvlhčovacím (DX + Des.)

6 – zpětné získávání citelného tepla, 7 – regenerační ohříváč, 8 – desikační kolo, OAV – venkovní větrací vzduch, OAE – venkovní vzduch ke směšování

* Nové senzory větrání

Švýcarská firma *Steinel Solutions* nabízí ke zlepšení kvality vzduchu v konferenčních místnostech, učebnách, restauracích, kancelářích, čekárnách apod. své senzory kvality vzduchu typu „CO₂-Aircheck“. Přístroj monitoruje ve vzduchu v místnosti koncentraci CO₂, která nemá ze zdravotních důvodů překročit 1000 ppm, přičemž tato hodnota všeobecně platí jako mezní pro posuzování kvality vzduchu. Konvekci proudí vzduch do měřicí komory v přístroji, kde optický plynový detektor analyzuje vzduch na adsorpčním principu. Pokud naměřená hodnota CO₂ překročí individuálně nastavitelnou spínací mez (např. 800 ppm), sepne se bezpotenciální relé. Tím lze uvést v činnost buď přímo elektrický aktuátor (ventilátor, otevírač oken) nebo varovací signál. Kromě toho je k dispozici analogový výstup o napětí 0,8 až 10 V úměrný koncentraci 400 až 2000 ppm. Tento signál může být pak předáván na automatický systém k monitorování a regulaci kvality vnitřního ovzduší.

CCI 11/2003

* Vydán standard ASHRAE k větrání bytů

ASHRAE oznamuje, že 3.12.2003 byl vydán první standard k problematice větrání obytných budov. Vychází pod označením 62.2 Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Low-Rise Residential Buildings. Byl připraven kolektivem vedeným prof. D. Grimsrudem. Standard je použitelný jak pro staré, tak pro nové budovy a uvádí základní požadavky na kvalitu vnitřního prostředí obytných budov.

Přináší některé zásadní změny. Nadále nebude přípustné, aby větrání bylo zajištěno pouze infiltrací a aby kuchyně neměly odvod znečištěného a přívod čistého venkovního vzduchu.

Standard lze koupit za 37 US \$ (cena pro členy ASHRAE je 29 \$). Objednání je možné po internetu nebo faxem na čísle 001 404 321 5478.

(Ku)

(www.ashrae.org)

(Laj)