

ZZT – známé principy v nových aplikacích

ZZT – known principles under new applications

Prof. Ing. Karel HEMZAL, CSc.
 ČVUT Fakulta strojní v Praze

V moderních objektech, nově stavěných nebo rekonstruovaných, jsou podstatně snižovány tepelné ztráty prostupem obvodovým pláštěm zvyšováním jeho izolačních vlastností. V takových objektech se sníženou energetickou spotřebou výrazně narůstá podíl tepelných ztrát větráním. Podnětem k vývoji zařízení pro ZZT ve vzduchotechnice v současné době je snaha o zlepšení hospodářství s energií jako nejlepšího způsobu snížení provozních nákladů při nejlepší ochraně ovzduší díky omezení spotřeby energie – a to jak v zimním, tak v letním provozu (u klimatizovaných budov). V celkové ekonomické bilanci přináší ZZT také snížení investičních nákladů, vzhledem k odstranění některých komponentů a ke snížení potřebné výkonnosti zdrojů tepla a chladu.

Klimatizační zařízení upravují vlhký vzduch. Proto při ZZT je třeba rozlišovat, zda jde o **teplu citelné** – jímž se mění teplota vzduchu, nebo **latentní (vázané)** – sdělované při vypařování vody nebo při kondenzaci vodní páry ze vzduchu – které ovlivňuje měrnou vlhkost vzduchu anebo **celkové** – dané součtem citelného a latentního – které mění entalpii. V letním provozu mluvíme o „ZZ chladu“ – i když víme, že teplo může přecházet samovolně jen z teplejší látky na chladnější – ve smyslu druhého zákona termomechaniky. Vždy jde o využití potenciálu tepla nebo chladu v odpadním vzduchu (jeho teploty), který jinak bez užítu odchází do okolí budovy.

O možnostech ZZT z odpadního vzduchu pojednal souborně profesor Chyský v Technickém průvodci Větrání a klimatizace. Uvedl závažné technické a ekonomické problémy instalace zařízení ZZT, kterými jsou malé rozdíly teplot mezi odváděným a přiváděným vzduchem, malý součinitel přestupu tepla ze vzduchu do stěn zařízení vzhledem k malým rychlostem a zvýšení tlakových ztrát, které zatěžují ventilátory. Podstatné jsou také investiční náklady na ZZT a omezená životnost zařízení. Doporučený postup ekonomického hodnocení obsahuje všechny potřebné položky a jeho použití je nutné jen doplnit aktuálními cenami energie a odpisovými položkami (úroky). Hodnocení investice je možné rozšířit o vliv dostupnosti financí, např. podle článku Ing. Vajsara ve VVI 3/94.

V příspěvku uvedu příklady progresivních způsobů využití kapalinových okruhů, rotačních a přepínacích výměníků, které mohou podnětit projektanty k úvahám o jejich aplikaci v našich podmínkách. Jsou to zařízení, která překonávají mnohé, výše uvedené, technické a ekonomické problémy a vedou k úspěšné realizaci. Nové konstrukce a soustavy činí ZZT atraktivní i přes jejich cenu. Dosahují tohoto efektu především neobvykle vysokými hodnotami účinností při malých provozních nákladech a při „přátelském“ provozu. Těchto parametrů dosahují především uplatněním fyzikálních zákonitostí.

Kapalinové okruhy se dostaly na index pro nutnost budování bariér vůči jedovatým příměsím nemrznoucích látek. Také účinnost jejich ZZT, která dosahovala jen 40 až 50 %, je činila nezajímavými vůči regeneračním výměníkům, nebo kompaktním deskovým výměníkům, které byly projektovány a dodávány jako součást dvouventilátorových klimatizačních jednotek (KJ).

Výsledkem soudobého vývoje jsou mnohařadé (např. s 18 řadami) výměníky, které jsou zapojeny v čistém protiproudu voda – vzduch, dosahují účinnosti přes 90 %, mají relativně malé tlakové ztráty na straně vzduchu díky větší roz-

teči hladkých lamel ze silnějšího plechu (větší rozteče měly i dřívě výměníky Janka typizované pro ZZT), které se jednoduše odmrazují. Kromě výhody dané možností dispozičního vzdálení proudu venkovního a odpadního vzduchu a dělení výměníku v odpadním vzduchu, mají možnost dělit také výměník v proudu venkovního vzduchu. Nejedovaté příměsi mohou být dokonce kompostovány a odpadá tak starost s jejich likvidací. Zásady pro vodní cesty platí i nadále – přenos tepla uvnitř musí být v turbulentní oblasti rychlostní ale hlavně tepelné mezní vrstvy, tj. s $Re > 5000$.

Vysoká účinnost umožňuje hospodárné využívání chladu z odpadního vzduchu v klimatizovaném budovách, při možnosti využít rozdíl mezi teplotami venkovního a odváděného vzduchu 32/26 °C. Vysoká účinnost výměníků nemáí teplotní potenciál tepla (exergii). Příklad využití viz. VVI 4/2002, s. 174. Tyto výměníky nabízejí multifunkční využití:

- ❑ adiabatické nepřímé chlazení se sprchováním výměníku na straně odpadního vzduchu
- ❑ odvlhčování v zařízení se 100 % venkovního vzduchu např. pro plavecké bazény kde umožňuje spojit v odvodu všechny prostory s rozdílnými teplotami a vlhkostmi – bazén, šatny, sprchy a vedlejší prostory;
- ❑ nízkoteplotní ohřivače např. s chladicí vodou od strojů nebo s dochlazováním vratné vody centralizovaného zásobování teplem, případně vodou ze slunečních kolektorů (voda 40/25, vzduch 20/38 °C);
- ❑ chladiče vzduchu v místnostech při větrání zaplavováním k odvodu citelného tepla s teplotami např. vody 18/28 a vzduchu 30/20 °C.

Deskové výměníky jsou ve větší míře než dosud řazeny za sebe a při různém uspořádání sprchovány. Po řadu let uváděla tento princip u nás např. Menerga. Na sprchované ploše dochází k odpařování vody a potřebné teplo se odebírá vzduchu, který proudí kolem druhé strany desky výměníku a je ochlazován. O využití tohoto principu byla publikována informace ve VVI 5/2003 a pojednával o ní také příspěvek Ing. Laina na konferenci Klimatizace a větrání 2004.

Kvalitativně novým je kanálový protiproudý výměník (VVI 4/2002, s. 174) fy. Paul s účinností 90 %. Patentované zapojení kanálků do přiváděcích a odváděcích komor jej chrání před kopiemi. Max. průtok 625 m³/h však limituje jeho použití – pokud by nebyl použit v paralelním zapojení.

Zcela samostatnou kategorií jsou deskové výměníky z upraveného papíru, který působí jako molekulové síto a propouští vodní páru. Dosahují v zimě účinnosti ZZV 30 až 40 %.

Rotační regenerační výměníky se na našem trhu sortimentem rozšiřují. Mají rotory tří typů, podle úpravy povrchu teplosměnné plochy vzhledem k přenosu vlhkosti:

Kondenzační rotory – citelného tepla – z Al folií, u kterých může docházet ke kondenzaci par z odpadního vzduchu v místě kola, kde teplota folie klesne pod teplotu rosného bodu. Účinnost zpětného získávání vlhkosti (ZZV) je proto malá a omezená na zimní období.

Entalpijní (entalpické) rotory – hygroscopické – z chemicky naleptaných folií, které mají kapilární strukturu povrchu. Kromě kondenzace za příznivých podmínek, dochází také k přenosu vodní páry adsorpčním účinkem. Celkový přenos vlhkosti – změna měrné vlhkosti Δx není však se stejnou účinností jako přenos citelného tepla – změna teploty Δt . Představa, že jde o dokonalou výměnu entalpie nebývá proto vždy naplněna, vzhledem k menší účinnosti přenosu vlhkosti.

Sorpční rotory – desikační – mají na nosném podkladu z Al, keramické nebo papírové folie, nanesenu vrstvu sorpčního materiálu (např. silikagelu nebo zeolitu, který působí jako molekulární síto) – podrobněji viz VVI 2/2001, s. 62. Tyto rotory přenášejí vlhkost přibližně nezávisle na stavu vzduchu (bez kondenzace) a tedy také v létě.

Jejich povrch tvoří desikanty, látky (sorbenty) schopné opakovaně adsorbovat a uvolňovat vodní páru. Jsou to tuhé látky s velkou porózitou, jejich povrch dosahuje několika set m² na 1 g látky. Působí na principu adsorpce, fyzikálním procesem vytváření vrstvy vodní páry (příměsí) na povrchu tuhé látky (bez kondenzace). Hybnou silou adsorpce je rozdíl ($p_2 - p_1$) parciálních tlaků příměsí v okolním vzduchu p_2 a v pórech částice desikantu p_1 .

Prakticky se dnes používají tři druhy adsorbentů s různými vlastnostmi, které je předurčují pro různé aplikace (odvlhčování, chlazení, vysoušení s různými požadavky na Δx při různé vstupní relativní vlhkosti vzduchu φ):

Silicagel, běžný a levný adsorbent, přenos vlhkosti je vysoký, má dobrou jímavost (sorpční schopnost) i při relativní vlhkosti $\varphi = 100\%$, je vhodný pro odvlhčování (dehumidifikaci), je málo selektivní a spolu se žádaným přenosem vodní páry mohou proto být přenášeny také škodlivé příměsí.

Aktivovaný oxidovaný hliník. Al₂O₃ se vytvoří řízenou korozí Al plechu ponořením hotových rotorů do roztoku bromidu. Tyto rotory jsou nejlevnější, přenos vlhkosti je však malý, mají malou jímavost, selektivita je malá – vzniká možnost přenosu nežádoucích příměsí.

Molekulová síta (např. zeolity), původem určená pro petrochemický průmysl, mají monodisperzní strukturu pórů, která zamezuje adsorpci molekul větších jak rozměr pórů. Tato vlastnost způsobuje jedinečnou přednost vůči ostatním desikantům v případech, kdy rozhoduje zabránění přenosu nežádoucích příměsí. Rotory se vyznačují velkou jímavostí vodní páry při nízkých měrných vlhkostech x , která se však příliš nezvětšuje při vyšších φ . Pokles jímavosti při vyšších teplotách je malý.

Adsorpční vlastnosti každého z desikantů lze upravovat těmito parametry porézního povrchu:

- velikostí vnitřního styčného povrchu
- změnou hustoty vlnění nosných folií (výška a rozteč),
- celkovým objemem kapilár,
- rozsahem průměrů kapilár.

Entalpické rotory mají obvykle délku 100 až 250 mm, výšku vln 1,5 až 2 mm, teplosměnnou plochu 1600 až 3300 m²/m³, jsou tedy velmi „kompaktní“, točí se 2 až 20 otáčkami za minutu.

Přenos příměsí desikanty

Desikanty adsorbují kromě vody celou řadu par a plynů. Tyto přímě-

si mohou být adsorbovány jen pokud je pro ně v kapilárách místo vedle vodní páry. Při periodické činnosti rotorů nejsou nikdy desikanty párou zcela nasyceny a je v nich proto místo i pro pohlcení jiných příměsí z protékajícího vzduchu. Také bakterie a tuhé aerosoly, dostatečně malé vzhledem k pórům, mohou a jsou adsorbovány. Pokud je parciální tlak plyných příměsí ve venkovním vzduchu menší, mohou být desorbovány do přiváděného venkovního vzduchu a vráceny do klimatizovaného prostoru.

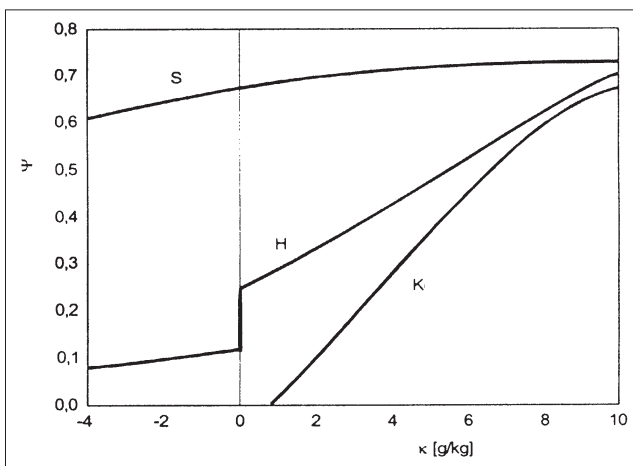
Selektivitu adsorpce lze vysvětlit rozbořem velikosti molekul (tzv. kinetických rozměrů), viz tab. 1 průměrů molekul. Adsorbována může být jen molekula jejíž rozměr je menší než rozměr pórů v desikantu. Adsorbovatelnost molekul závisí kromě velikosti také na jejich tvaru (kulovitý, přímkový, hvězdicový, cyklický ...) a na jejich polaritě. Např. CO je méně adsorbován než H₂O i když molekuly mají stejný rozměr.

Tab. 1 – Kinetické průměry molekul součástí a příměsí vzduchu

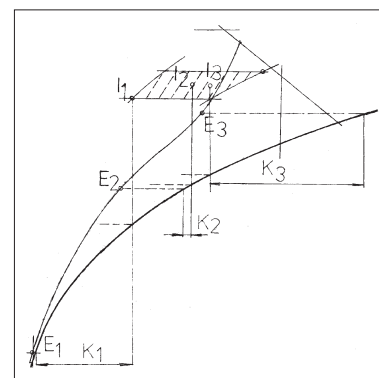
Molekula	Průměr v nm (nanometry = 10 ⁻⁹ m)
Helium He	0,2
Vodík H ₂	0,24
Vodní pára H₂O, kyslík O₂, CO, CO₂	0,28
Dusík N ₂	0,3
Čpavek NH ₃ , sirovodík H ₂ S	0,36
Metan	0,4
Etanol	0,44
Propan	0,49
Freon R 22	0,53
Toluen	0,67
Benzen	0,68
Trietylamin	0,84

Přenos vlhkosti dobře znázorňuje závislost účinnosti na tzv. **kondenzačním potenciálu** jímž je rozdíl mezi měrnou vlhkostí odváděného vzduchu a měrnou vlhkostí nasyceného venkovního vzduchu při jeho teplotě, $K = x_i - x_e^*$ v zimě je $K > 0$, v létě je $K < 0$.

Při použití sorpčních rotorů v jednotkách s kondenzačním rotorem lze vzduch v létě chladit bez klasického chladicího zařízení. Zařízení musí mít další rotor citelného tepla. O aplikaci desikačních rotorů byly publikovány příklady na mi-



Obr. 1 – Účinnost ZV rotorů K – kondenzačních, H – hygroscopických, S – sorpčních, v závislosti na kondenzačním potenciálu. Výsledky měření na instalovaných zařízeních – podle E. Becka – HLH 5/2003.



Obr. 2 – Kondenzační potenciál $K = x_i - x_e^*$ a jeho změny v průběhu roku. V zimě a v přechodném období $K_1, K_2 > 0$, v létě $K_3 < 0$ (Křivka středních stavů vzduchu venku dle TP 31, Chyský, J, Hemzal, K. a kol.: Větrání a klimatizace 1993, s. 456).

nulé konferenci v roce 1997 (Chmelík, Putta) i v řadě příspěvků ve VVI (Polách 5/2000).

Některá doporučení

- Pro větrací zařízení bez mechanického chlazení jsou vhodné levnější kondenzační rotory (citelného tepla).
- Tam, kde se v létě musí vzduch odvlhčovat, mají význam sorpční rotory, které zmenší nebo vyloučí chladičí zařízení.
- Účinnost ZZV entalpijních rotorů v přechodném ročním období a za provozu chlazení je malá. Pro větší cenu vzhledem ke kondenzačním rotorům se proto nevyplatí.

Potřebné jsou účinné adiabatické zvlhčovače, kterými jsou **pračky vzduchu** nové generace. Především je odstraněna jejich nehygieničnost a náročnost na obsluhu značně snížena, takže mohou vyniknout jejich termodynamické přednosti adiabatického ochlazování. V takových klimatizačních jednotkách musí být pračky dvě. O principu praček NOVA viz. VVI 4/2002 s. 174. Moderní pračky nabízí také fa. AxAir.

Přepínací regenerační výměníky v podobném půdorysném uspořádání, jako měly jednotky Koventerm 4 (podle AO 242937/1987 – Chyský – Hemzal), nabízí v dokonalém provedení fa. Menerga. Je zajímavé, že doba jednoho cyklu 40 s, která byla ekonomická, je použita také u nových jednotek. Potíže se zkra-

tem, které jsou vlastní všem regeneračním jednotkám, rotačním i přepínacím, limitují jejich použití a vyžadují pečlivou kalkulaci tlakových poměrů tak, aby čerstvý vzduch vytlačoval netěsnostmi pronikající vzduch odpadní.

Shoda známých principů s používanými v nejmodernějších konstrukcích dokládá oprávněnost názvu mého příspěvku. Je také dokladem potenciálních možností, které ve vývoji oboru klimatizace jsou. Jen musí být uchopeny správnými lidmi, kteří je dokážou nejen vymyslet a vyrobit, ale hlavně prodat.

Nejdůležitější otázky, na něž musí mít odpovědi projektant a které použije k rozhodování stavebník – investor, jsou

- Kdy je ekonomicky výhodné použít ZZT?
- Jak ZZT zařadit do VZT zařízení?
- Jak je dimenzovat k dosažení maximálních úspor?
- Jak velké úspory energie lze očekávat?
- Zvýší ZZT cenu zařízení nebo sníží?

Nástrojem jsou výpočtové programy, do kterých by měl projektant, „vidět“, aby mohl posoudit věrohodnost výsledků.

Spojení na autora: hemzal@fsid.cvut.cz

Příspěvek byl přednesen na konferenci Klimatizace a větrání 2004. ■

* Nové cesty ve vzduchotechnice

Jak oznámil jeden z největších německých výrobců zařízení technické výbavy budov, hamburská firma *Imtech*, připravuje nový směr ve vzduchotechnice a popisuje jeho strukturu a vlastnosti. Systém využívá „Phase Change Materials“ (PCM) a předkládá jejich možnosti použití v klimatizační technice. Jedná se o využití vlastností parafinů a hydrátů solí, u nichž lze „nastavit“ pevně přechodovou fázi tuhá-kapalná, např. na 20 °C. Při průchodu PCM, např. chladným nočním vzduchem se uloží chlad v modulech (stav „tuhý“) a pak v pozdější době mohou PCM v místnostech, zařízeních vzduchotechniky aj. teplo zachytit a přitom změnit jejich stav v agregátech na kapalný.

22 veřejných institucí (jako např. správní budovy, školy aj.) s celkem 50 budovami uzavřelo s firmou *Imtech* a jinými partnery smlouvu, že sníží dosavadní roční náklady na energii minimálně o 29 procent. Aby mohlo být tohoto cíle dosaženo, jsou třeba v nejbližší době tato úsporná opatření: rekonstruovat nosiče energie, inovovat kotle (kondenzační technika), optimalizovat čerpadla a otopné soustavy, použít techniku DDC a automatizaci budov, optimalizovat dobu chodu a objemové průtoky větracích zařízení aj. Spolu s technickou univerzitou v Hamburгу vyvinula výzkumná laboratoř *Imtech* příslušný software, kterým bude možno na základě zadané křivky ročního klimatu podchytit roční spotřebu energie a provozní náklady zásobování teplem a chladem a zvážením variant optimalizace systému se zaměřit na úspory energie. Software se již osvědčilo při přeprojektování energetického zásobování velkého farmaceutického závodu, kde bylo diagnostikováno a realizováno snížení spotřeby tepla o cca 80 procent a chladu o 15 procent.

CCI 13/2003

(Ku)

* Membránové kontakty řídí vlhkost vzduchu

Pro ovládání vlhkosti vzduchu v klimatizaci obytných prostorů, vozidel, kontejnerů a skladů vyvinul výzkum GKSS Forschungszentrum v Geesthachtu u Hamburгу nový membránový kontakt, v němž přichází vzduch do kontaktu s absorbentem pouze přes paropropustnou membránu.

Vlhkost vzduchu prochází jednocestnou membránou a je pohlcována absorbentem (např. chloridem lithným). Membrána je řešena z dutých vláken z polyetherimidu (PEI),

na vnitřní straně opatřených vrstvou polydimethylsiloxanu (PDMS) ze silikonového polymeru, hydrofobní a nepropustné pro kapaliny, propustné pro vzduch a vodní páru. Pro separaci se využívá rozdíl parciálních tlaků.

Další přednosti membránových konektorů spočívají ve vysoké permeabilitě membrány (0,5 g/m².hPa pro vodní páru), v definované kontaktní ploše, v nízkém tlakovém spádu na straně vzduchu (max. 1 hPa/m² plochy při průtoku 580 m³/h), možnosti odděleného ovládání více proudů, řešení i pro příčná proudění, snadná vestavba do rozvodů. Vysokou životnost zaručuje jakost pevného PEI plastu, s teplotní odolností do 170 °C, vysokou korozní odolností, nízkou navlhavostí a požární odolností stupně V0 dle UL 94. Konektory se v provedení s plochou 0,1, 0,5 a 2 m².

GKSS Forschungszentrum, Geesthacht, 2003.

(AB)

* Indoor Air 2005

10. mezinárodní konference o kvalitě vnitřního ovzduší Indoor Air 2005 se bude konat od 4. do 9. září 2005 v Pekinu, v Číně. Pořadatelem je Mezinárodní akademie věd o vnitřním ovzduší a klimatu. Konference se uskuteční v prostorách pekinské Tsingua university. Termín k zaslání příspěvků je 30.9.2004.

Další informace najde čtenář na adrese www.indoorair2005.org.cn.

(Laj)

* Klimatizace výstaviště v italských Benátkách

V roce 2004 se již po padesáté uskuteční mezinárodní výstava benátské bienále. Klimatizaci všech výstavních prostor zajistí italská firma Aermec. Firma byla vybrána na základě dobrých zkušeností a nejlepších referencí – instalovala klimatizaci v bazilice del Santo v Padově, v Guggenheimově nadaci v Benátkách, v britském muzeu v Londýně a j. Společnost sídlí ve městě Bevilacqua u Verony a na klimatizaci se dlouho specializuje. Má přes 500 zaměstnanců a její obchodní obrát v roce 2002 činil 120 mil. €. Asi 75 % produkce zůstává v Itálii, cca 25 % je realizováno v zahraničí, převážně v oblasti středomoří.

www.asercom.org

(Laj)