

Ing. Gabriel BEKŮ¹⁾²⁾
Prof. Ing. Dušan PETRÁŠ, Ph. D.¹⁾

Filtrácia vzduchu vo vetracích a klimatizačných jednotkách a zmyslové znečistenie vzduchu zo zanesených filtrov

The Air Filtration in Ventilation and Air-Conditioning Units versus the Sensory Air Pollution from Used Ventilation Filters

Recenzentka
MUDr. Ariana Lajčíková, CSc.

Filtre vzduchu sú dnes jedným z najdôležitejších súčastí vzduchotechnických jednotiek a majú za úlohu odstrániť rôzne škodliviny zo vzduchu privádzaného do priestoru. Ako filtre zachytávajú nečistoty, zanášajú sa a po určitej dobe používania sa samotné filtre stávajú zdrojmi znečistenia, zvyšujú v priestore koncentráciu niektorých látok negatívne vplyvujúcich na vnímanú kvalitu vzduchu. Príčina tohto javu je predmetom súčasného výskumu. Článok poukazuje na nový náhľad na škodliviny vo vnútornom prostredí a na potrebu filtrácie vzduchu, popisuje alternatívne spôsoby filtrácie ako aj približuje problém nastávajúci pri nedostatočnej údržbe, resp. dlhodobom užívaní filtrov vzduchu. V druhej časti je opísaný experiment skúmajúci vzduch za použitými filtermi chemickou analýzou moderným spektrometrom.

Kľúčové slová: škodliviny, filtre vzduchu, zmyslové znečistenie, vnímaná kvalita vzduchu, spektrometer PTR-MS

Currently, air filters are one of the most critical components of air treatment systems as they decontaminate the air delivered to living space. During the operation, however, the level of harmful surface deposits increases, and at certain times, an uncleaned filter can itself become a source of undesirable contaminants influencing negatively the IAQ of a living space. This is the phenomenon that has been a subject of the current research. The article presents a new, alternative view on indoor air contaminants and filtration requirements. It describes alternative means of filtration and assesses issues of inadequate maintenance and/or long term use of applied air filters. An experimental method of evaluating the air quality by means of chemical analysis and state-of-the-art spectrometer is also described.

Key words: contaminants, air filters, sensory pollution, perceived air quality, spectrometer PTR-MS

Výskyt astmy, alergických a iných ochorení dýchacích ciest narástol počas posledných desaťročí. 15 až 20 % dospelých má dnes podľa predpokladov alergickú nádchu (zápal nosa), 2 až 6 % astmu, 2 až 5 % atopický ekzém, 1 až 2 % alergiu na určité jedlo a 15 % alergiu na styk s konkrétnou látkou. Dôvod nie je jasný, ale predpokladá sa, že vysoká tesnosť budov, nedostatok vetrania, zvýšené podmienky podporujúce priebeh chemických reakcií medzi škodlivosťami v priestore a tým pádom aj nízka kvalita vnútorného vzduchu prispievajú k sťažnostiam užívateľov budov. Požiadavky na lepšiu kvalitu vnútorného vzduchu postupne celosvetovo rastú. Je to prirodzené, keďže väčšinu času (okolo 90 %) trávime vo vnútornom prostredí a čoraz sme informovanejší o znečistení vnútorného vzduchu škodlivosťami ako ozón, CO, prchavé organické látky, SO₂, OH skupina a prachové častice. Existujú tri hlavné stratégie na zníženie znečistenia vnútorného prostredia. Patrí sem tzv. kontrola zdrojov znečistenia (čistenie, eliminácia fajčenia vnútri, použitie nízko emisných materiálov), riedenie vzduchu vetraním a čistenie vzduchu. Hoci kontrola zdrojov škodlivosťami je primárny spôsob ako obmedziť vystavenie škodlivosťami, bez dostatočného vetrania a filtrácie vzduchu nie je možné dosiahnuť vysokú kvalitu vnútorného vzduchu.

Potreba účinnej filtrácie narástla s rastúcim počtom dôkazov o nebezpečnom vplyve jemných častíc. Na druhej strane, energetické náklady a hodnotenie životnosti ovplyvňujú vývoj vetracích systémov, pretože účinnejšia filtrácia ma zväčša za následok zvýšenú tlakovú stratu a následne zvýšené náklady vzduchotechnickej jednotky na energiu. Okrem dôsledného návrhu a konštrukcie, vzduchotechnické a klimatizačné systémy potrebujú správnu a pravidelnú údržbu. Zanedbaná technická údržba môže zapríčiniť nedostatočnú funkčnosť systému ako aj do istej miery zníženú kvalitu vnútorného vzduchu.

ŠKODLIVINY VO VNÚTORNOM VZDUCHU

Nečistoty vo vzduchu obsahujú plynné zložky, častice, ako aj ich dvojfázové zmesi. Väčšina z nich pochádza zo spaľovacích a energetických procesov, dopravy a prírody.

¹⁾ Stavebná fakulta, Slovenská Technická Univerzita v Bratislave

²⁾ International Centre for Indoor Environment and Energy, Technical University of Denmark

Aerosóly

Aerosóly sú zmesi plynu a častíc. Zahrňujú dym, prachové vlákna a bioaerosóly (vírusy, baktérie, plesne, peľ a riasy). Primárne aerosóly sú zložené z častíc priamo uvoľnených do atmosféry, kým sekundárne aerosóly sú generované vo vzduchu cez konverzné procesy plynu na častice (procesy zahrňujúce prchavé organické látky, napr. terpény, ktoré cez reakcie s ozónom môžu produkovať sekundárne organické aerosóly).

Mechanizmy filtrácie a zdravotné hľadisko blízko súvisia s rozmerom častíc. Častice rozmerov medzi 0,01 až 0,1 µm sú známe ako ultra-jemné častice. Jemné častice sú rozmeru 0,1 až 2,5 µm. Častice pod 2,5 µm sa považujú za najnebezpečnejšie, pretože môžu preniknúť cez dýchací systém. Častice väčšie ako 2,5 µm sa volajú hrubé častice. Niektoré častice bežne sa vyskytujú vo vnútornom a vonkajšom prostredí a ich rozmery sú prezentované v tab. 1. Odstránenie častíc (aerosólov) je najdôležitejším cieľom čistenia vzduchu vo vzduchotechnických systémoch.

Tab. 1 Rozmery niektorých bežných častíc vyskytujúcich sa vo vzduchu, podľa [6]

Častica	Priemer, µm	Častica	Priemer, µm
Kožná šupina	1 až 40	Azbest	0,25 až 1
Viditeľný prach	>25	Tabakový dym	0,1 až 0,8
Pleseň a peľové spóry	2 až 200	Dieselová sadza	0,01 až 1
Baktérie*	0,05 až 0,7	Vonkajšie jemné častice	0,1 až 2,5
Vírusy*	<0,01 až 0,05	Častice zo spaľovacích procesov	<0,1
Minerálne vlákna	3 až 10	Aerosóly tvorené ozónom a terpénmi	<0,1

*Vyskytujú sa vo väčších jadrách kvapôčok

Plynné zložky

Počet plynných zlúčenín je obrovský a sú tvorené veľkým množstvom zdrojov, medzi ktoré patria aj maliarske práce, čistenie rozpúšťadlami, skladovanie a zásobovanie paliva, rafinérie ropy, tlačiarenské práce alebo motorové vozidlá a iné spaľovacie procesy. Sú taktiež emitované zo stavebných materiálov, ná-

bytkov, počítačov, koberca, cez ľudskú kožu, dýchaním. Tieto látky, a najmä pokiaľ ide o plyny vo vnútornom vzduchu, sa obvykle označujú ako prchavé organické látky. Prchavé organické látky sa môžu kategorizovať podľa ich prchavosti a/alebo na základe ich chemických vlastností. Svetová Zdravotnícka Organizácia (WHO) rozdelila organické látky nachádzajúce sa vo vnútornom prostredí podľa ich bodu varu do nasledovných kategórií:

- ❑ Veľmi prchavé organické látky („Very volatile organic compounds“ – VVOC).
- ❑ Prchavé organické látky („Volatile organic compounds“ – VOC).
- ❑ Polo-prchavé organické látky („Semi-volatile organic compounds“ – SVOC).
- ❑ Organické látky spojené s časticami alebo organické častice („Particulate organic matter“ – POM).

Niektoré organické látky sú „iba“ škodliviny dráždiace zmysly (hlavne sliznicu v očiach a nosovej dutine, napr.: aldehydy, karboxylové kyseliny, styren), ale môžu to byť aj nebezpečné škodliviny vrátane karcinogénnych zlúčenín – tvorené najmä dopravou a spaľovaním (polycyklické aromatické uhľovodíky: „Polycyclic Aromatic Hydrocarbons“ – PAH). Väčšina týchto látok je naviazaných na častice a dajú sa odstrániť zo vzduchu účinnou filtráciou. Avšak môžu nastať emisie prchavých organických látok zo samotných častíc. Tieto látky vďaka odparovaniu prispievajú k nepríjemnému dusnému zápachu v priestore, k pocitu nevetraného vzduchu, spôsobeného napríklad starými, zanesenými filtrami vzduchu. Na efektívne odlúčenie týchto látok je potrebné používať chemické filtre.

Mikroorganizmy

Vonkajší vzduch obsahuje vysokú koncentráciu hubových spór. Najbežnejšie sa vyskytujúce spóry húb sú *Cladosporium* (rozmer medzi 1 až 10 µm), *Penicillium* a *Aspergillus* (rozmer medzi 2 až 5 µm). Koncentrácia životaschopných spór často prevyšuje 1000 CFU/m³ v letnom období (Colony-Forming Unit – CFU: minimálny počet mikroorganizmov schopných tvoriť kolónie). Počet hubových spór vo vonkajšom vzduchu sa zníži iba počas zimných mesiacov, v oblastiach so snehovou pokrývkou. Patogénny *Aspergillus* je bežnou súčasťou vonkajšej hubovej flóry. Spóry plesní sa do budov môžu dostať cez okná alebo cez nedostatočný filtračný systém. Navyše filtre, ktoré by mali zamedziť vniknutie hubových spór do budovy, sa môžu hubami kolonizovať.

Mikroorganizmy rastú všade, kde sú vhodné environmentálne podmienky. Systémy vykurovania, vetrania a klimatizácie s vysokou relatívnou vlhkosťou, nankumulovanou vlhkosťou, dostatočným substrátom ako je prach alebo rozkladajúca sa izolácia s organickými úločkami a vhodnou teplotou poskytujú vyhovujúce prostredie pre mikrobiálny rast [7]. Mikrobiálne znečistenie hubami a baktériami je časté v chladiacich vežiach, zvlhčovačoch, výmenníkoch tepla, atď. Vysoká povrchová hustota baktérií (10³ CFU/m³) bola objavená na výmenníkoch tepla.

POTREBA FILTRÁCIE VZDUCHU

Ľudská dýchacia sústava slúži na prívod kyslíka do krvi a na odvod oxidu uhličitého. Cez pľúca sa za deň približne prepraví 600 litrov kyslíka. Vdýchnuté množstvo vzduchu za deň je okolo 10 000 litrov. Dýchacia sústava sa skladá z dvoch častí: skupina trubic (nosová a ústna dutina, hltan – farynx, hrtan – larynx, dýchacia trubica alebo priedušnica – trachea, priedušky – bronchy a priedušničky – bronchioly) vedúcich do koncovej oblasti v podstate kapsovej štruktúry (pľúcne mechúrky – alveoly).

Nebezpečenstvo spôsobené časticou alebo substanciou závisí na jej konečnom cieľovom orgáne. Čím hlbšie sa častica dostane, tým škodlivejší dopad môže spôsobiť. Preto sú jemné častice (<2,5 µm), ktoré nasledujú prúd vzduchu, najškodlivejšie. Tie sa ľahko dostanú až do pľúc, kým väčšie častice sú odstránené z dýchacieho traktu filtračnými mechanizmami horných dýchacích ciest. To je dôvod, prečo nové filtračné metódy by sa hlavne mali sústreďovať na jemné a ultra-jemné častice. Navyše, kvalita častíc je ďalším dôležitým aspektom z hľadiska zdravia. Tie častice, ktoré obsahujú reaktívne látky, nebezpečné mikroorganizmy alebo karcinogénne zlúčeniny predstavujú najväčšie riziko.

Existuje niekoľko škodlivín vo vzduchu, ktoré môžu vyvolať alergické reakcie. Napriek tomu, že väčšina alergénov vo vzduchu sú častice, ich rozmer nie je natoľko dôležitý ako ich toxický vplyv, pretože alergická reakcia môže nastať aj na horných dýchacích cestách: napríklad aj veľké peľové častice, ktoré sú jednoducho odlúčiteľné z vetracieho vzduchu filtráciou, sú známe, že môžu vyvolať alergické symptómy.

Jedna z dôležitých úloh filtrácie privádzaného vzduchu popri zabezpečení vysokej kvality vzduchu je chrániť súčasti vzduchotechnických jednotiek pred znečistením a zanášaním. Hrubé frakcie častíc podstatne ovplyvňujú funkciu jednotlivých komponentov vetracích a klimatizačných jednotiek. Napríklad ohrievače a chladiče sa môžu bez filtrácie zaniest v relatívne krátkom čase, a náklady na energiu by sa ešte skôr zvýšili kvôli rastúcej tlakovej strate. V prípade že sa filtrácia zanedbá, nastáva zmena farby a viditeľné zaprášenie povrchov, zlyhanie zariadenia a zvýšená pravdepodobnosť vzniku požiaru. Znečistenie vo vetracom systéme tiež zapríčiňuje zvýšené náklady na čistenie, rastúce riziko korózie alebo riziká nehôd ako sú skraty v elektrických zariadeniach.

METÓDY FILTRÁCIE A ČISTENIA VZDUCHU

Filter prírodného vzduchu je jedným s kľúčových prvkov vetracieho systému. Spôsoby filtrácie vzduchu sa môžu rozdeliť do dvoch skupín, jedna je *odlučovanie častíc* a druhá *filtrácia plynných látok*.

Existuje niekoľko typov filtrov tuhých častíc. Najdôležitejšími výkonnými parametrami týchto filtrov sú náklady na energiu a odlúčivosť. Medzi *Mechanické filtre* patria filtre pre hrubý prach (G1-G4 podľa klasifikácie EN 779), filtre pre jemný prach (F5 až F9 podľa klasifikácie EN 779) a filtre s vysokými účinnosťami – HEPA a ULPA filtre (H10 až H14 a U15 až U17 podľa klasifikácie EN 1822). Bežne používaným materiálom pre vláknité filtre sú celulózoové vlákna, sklenené vlákna a syntetické vlákna. Použitie plastových vlákien sa tiež rýchlo rozvinulo. Najčastejšie polyméry nachádzajúce sa v plastových vláknach sú polyester, polypropylén, polyamid a polykarbonát. Plastové vlákna môžu byť aj elektricky nabité a tým sa zvyšuje ich stupeň účinnosti pre jemný prach.

Iný spôsob odlučovania častíc zo vzduchu je *elektrofiltrami*, ktoré ich zachytávajú pôsobením elektrostatickej sily. Elektrickým nábojom sa môžu nabiť filtračné vlákna a/alebo prachové častice; tie sa nabíjajú iónmi tvorenými korónových výbojom. Nabité častice sú potom priťahované k vláknam s opačným nábojom. Výhodou elektrofiltrovo je malá tlaková strata miestnym odporom a možnosť čistenia zberných kolektorov. Nevýhodou sú vysoké zaobstarávacie náklady, časom postupne klesajúca odlúčivosť a v niektorých prípadoch aj produkcia ozónu.

Najrozšírenejší spôsob obmedzenia koncentrácie nežiaducich plynov a pár vo vzduchu je použitie adsorpčných metód. V takom prípade vzduch prúdi cez adsorpčné lôžko, v ktorom sa nachádza adsorbent s veľmi veľkou účinnou plochou. Keď sa plyn alebo para dostane do kontaktu s tuhým povrchom, ich časť sa naviaže na povrch. Môže nastať aj rovnomerná absorpcia do vnútra samotnej tuhej hmoty a keďže *adsorpcia* (viazanie na povrch) a *absorpcia* sa často ťažko rozoznávajú, všeobecný pojem „sorpcia“ sa niekedy používa na popis fenoménu odlúčenia plynu tuhým látkou. Adsorpcia sa môže klasifikovať ako *fyzikálna adsorpcia* (slabé sily, vratný dej, viacvrstvové pokrytie povrchu odstránenou látkou) alebo *chemisorpcia* (presun elektrónov ekvivalentný tvorbe chemickej väzby medzi plynom a tuhým povrchom, nie je vratný dej, jednovrstvové pokrytie povrchu odstránenou látkou). Adsorbent môže byť *amorfný* (silikagél, aktívne uhlie) a *kryštalický* (zeolit). Aktívne uhlie je najrozšírenejšie používaný adsorbent. Jeho štruktúra je podobná spongii, ktorá má sieť pórov rozložených po celom objeme materiálu. Vnútrná povrchová plocha je v rozsahu medzi 1100 a 1200 m²/g. Adsorpcia aktívnym uhlím je vhodná na odstránenie uhľovodíkov, tabakového dymu, zápachov z tela, zápachov od varenia a iných prchavých organických látok. Navyše sa môže aplikovať regenerácia tohto adsorbentu. Adsorpcia kolísavou teplotou (Temperature-swing adsorption – TSA) alebo adsorpcia kolísavým tlakom (Pressure-swing adsorption – PSA) sú najčastejšie používané procesné cykly oddeľovania plynov. Odlúčenie kontami-

nantov z adsorbentu nastáva desorpciou pri vysokej teplote (TSA) alebo nízkom tlaku (PSA).

Jedna z modernejších filtračných techník kombinuje niektoré vyššie uvedené princípy ako je elektricky zosilnený aerosólový filter a aktívne uhlie na odlúčenie plynov a pár. Táto viacstupňová filtračná jednotka (UV – lampa za filtrom sa tiež môže dodať ako súčasť systému) je použiteľná za účelom klasickej filtrácie privádzaného vzduchu alebo na čistenie recirkulovaného vzduchu. Nedávne prepuknutie ochorenia SARS a bio-terorizmu v USA ovplyvnilo vývoj viacstupňových filtračných techník kombinujúcich filtráciu častíc a plynov so sterilizáciou baktérií a iných mikroorganizmov. Ďalšie metódy čistenia vzduchu zahŕňujú napríklad použitie Ultrafialovej Baktericídnej Iradiácie (Ultraviolet Germicidal Irradiation – UVGI), ktorá je schopná zabiť rôzne mikróby, alebo Fotokatalytickej Oxidácie (Photocatalytic oxidation – PCO), ktorá rozloží adsorbované bioaerosóly, toxické prchavé organické látky a ich zápachy na oxid uhličitý (CO_2) a vodu (H_2O).

Generátory ozónu sa v mnohých krajinách predávajú ako čističe vzduchu. Často sa tvrdí, že metóda je bezpečná a účinná z hľadiska obmedzenia znečistenia vzduchu v priestoroch. Avšak neexistujú dôkazy, ktoré by podporili tieto tvrdenia a na opačnej strane ozón, ktorý má toxické vlastnosti, môže spôsobiť zdravotné problémy. Produkty jeho oxidačných reakcií sú často dráždivejšie ako ich predchodcovia.

FILTRE VZDUCHU AKO ZDROJE ZNEČISTENIA VZDUCHU

Napriek veľkému počtu prístupných filtračných metód sa dnes vo väčšine budov, najmä občianskych a kancelárskych, používa na odstránenie častíc z privádzaného vzduchu (či už vonkajšieho alebo aj recirkulačného) v prvom rade klasická filtrácia kapsovými filtermi najčastejšie triedy F7, vyrobenými zo skleneného vlákna. Filter triedy F7 je považovaný za najekonomickejší z hľadiska prevádzkových nákladov a čistenia. Pri vyšších požiadavkách na účinnosť filtrácie (napr. v nemocniciach), sa odporúčajú filtre HEPA, kým sa ale súčasne zvýšia energetické náklady a vyžaduje sa použitie predfiltrův. Navyše, experimenty a prieskumy v teréne ukázali, že zanesené filtre môžu predstavovať zdroj znečistenia vnútorného vzduchu [8, 9]. Keď vzduch prúdi cez filter počas niekoľkých mesiacov a častice sa zachytávajú na jeho povrchu, celková povrchová plocha naakumulovaných častíc môže dosiahnuť až niekoľko sto metrov štvorcových. S týmito časticami je spojené množstvo organických látok. Nežiaduce chemické procesy prebiehajúce na povrchu zanesených filtrov môžu mať za následok produkty, ktoré negatívne ovplyvňujú subjektívne vnímanú kvalitu vzduchu a jeho dopad na osoby v priestore [11].

Nepriaznivý vplyv zanesených filtrov prítomných v recirkulačnej jednotke vzduchu na vnímanie kvality vnútorného vzduchu a na symptómy Syndrómu chorých budov (Sick Building Syndrome – SBS) bol zistený štúdiom vykonaným v experimentálnej miestnosti [3]. Prieskum v teréne, kde osoby vykonávajújú kancelársku prácu hodnotili vnímanú kvalitu vzduchu, intenzitu symptómov syndrómu chorých budov (SBS) a odhadovaný vlastný výkon keď sa do recirkulačnej jednotky vložil buď nový alebo starý filter, podal podobné výsledky [10]. Výmena použitého filtra v privádzanom vzduchu za nový bola veľmi užitočná, zvýšila vnímanú kvalitu vzduchu, zmiernila intenzitu symptómov SBS, zlepšila odhadovanú vlastnú produktivitu práce. Zvýšený prítok privádzaného vonkajšieho vzduchu mal kladný vplyv najmä keď bol osadený nový filter.

Tieto výsledky naznačujú, že včasná a pravidelná výmena filtrov privádzaného vzduchu môže čiastočne zabrániť poklesu kvality vzduchu vo vetraných priestoroch. Nie je však ešte celkom jasné, čo by mohlo byť dôvodom znečistenia vzduchu zo zanesených filtrov. Dávnejšie pokusy prispeli k nasledovnému záveru: je nepravdepodobné, že by mikroorganizmy (biologické aktivity) mohli byť hlavnou príčinou emisií zapríčínujúcich zhoršenie vnímanej kvality vzduchu za použítymi filtermi [1].

Kolektív výskumníkov [2] vo svojej štúdií skúmal oxidačné reakcie prebiehajúce na povrchu použitých filtrov a vyvodil záver, že reakcie prebiehajúce za prítomnosti oxidantov (napr. kyslík, ozón) vo vzduchu prúdiacom cez filter, môžu silno

prispievať k degradácii vnímanej kvality vzduchu za filtrom. Zápach uvoľnený zo zanesených filtrov vzduchu je pravdepodobne spôsobený prchavými organickými látkami (VOC) a polo-prchavými organickými látkami (SVOC) pochádzajúcimi z častíc zhromaždených na filteri. Presnejšie informácie o tom, ktoré zlúčeniny a aké konkrétne procesy sú zodpovedné za zhoršenie vzduchu za filterami, by pomohli pri riešení tohto problému. V tom by mohli byť užitočné chemické merania, ale často látky generované reakciami medzi vnútornými škodlivinami nie sú možné detegovať analytickými metódami bežne používanými vo výskume vnútorného vzduchu. Testy emisií z prachu zachyteného na filteri prvého stupňa filtrácie (hrubý filter) a na filteri druhého stupňa filtrácie (jemný filter) metódou tepelnej desorpcie (thermodesorption) určili aldehydy a aromatické uhľovodíky ako hlavné emisné produkty. Presnejšie výsledky sa očakávali od chemickej analýzy vzduchu novým spektrometrom PTR-MS v laboratórnych podmienkach.

CHEMICKÉ MERANIA SPEKTROMETROM PTR-MS (Proton-Transfer-Reaction Mass Spectrometer)

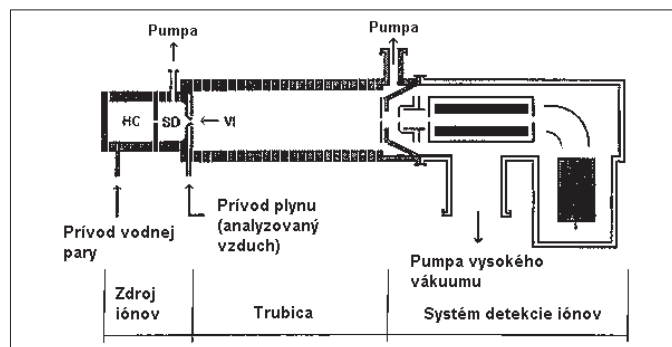
Spektrometer PTR-MS (Proton-Transfer-Reaction Mass Spectrometer) je prístroj, ktorý používa novú, veľmi rýchlu a citlivú metódu na meranie prchavých organických látok vo vzduchu. Zariadenie bolo vyvinuté v Inštitúte iónovej fyziky (Institut für Ionenphysik) na innsbruckej univerzite a vyrába ho firma Ionicon Analytik GmbH. PTR-MS má veľa aplikácií ako napríklad merania prchavých organických látok v troposfére, emisií z kávových nápojov, alebo pri vyšetrovaní pasívneho fajčenia. Spektrometer bol k dispozícii na Medzinárodnom centre vnútorného prostredia a energie (International Centre for Indoor Environment and Energy) na Dánskej Technickej Univerzite pre nasledovný experiment za účelom detekcie a monitorovania organických látok vypúšťaných znečistenými vzduchovými filtermi. Na merania boli použité vzorky malého rozmeru odobrané z bežného vzduchotechnického filtra.

PTR-MS

Spektroskopia PTR-MS je založená na transfere protónu reakciami s iónmi H_3O^+ , čím sa chemicky ionizujú prchavé organické zlúčeniny prítomné v plynnej látke, ktorou je v tomto prípade vzduch. Metóda umožňuje spojitú monitorovanie množstva organických látok s veľmi nízkymi koncentraciami – v oblasti „ppt“ (parts per trillion). PTR-MS deteguje prchavé organické zlúčeniny s vyššou protónovou afinitou ako má voda [5].

Charakteristika prístroja:

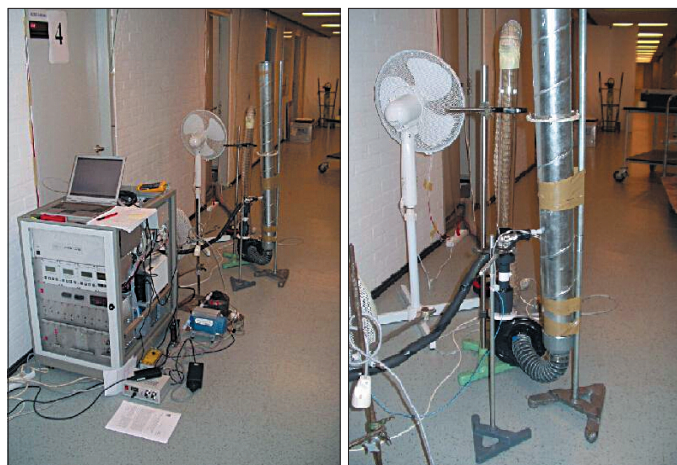
- Hmotnostný rozsah: 1 amu – 512 amu (amu = atómová hmotnostná jednotka – „atomic mass unit“).
- Merací čas: 2 ms – 60 s/amu.
- Doba odozvy: < 200 ms.
- Rozsah merateľnej koncentrácie: 10 ppt – 5 ppm.



Obr. 1 Schéma prístroja PTR-MS: HC – dutá katóda (hollow cathode), SD – oblasť prechodu zdroja (source drift region) a VI – vstup typu Venturi (Venturi-type inlet)

Prístroj sa skladá z troch častí (obr. 1)

- Zdroj iónov, kde sa ióny produkujú výbojom dutej katódy. Ako molekulárny zdroj iónov sa používa vodná para;
- Prechodová trubica, kde prebiehajú reakcie (transfer protónu) za vzniku stopovaných zložiek vo vzduchu;



Obr. 2a Experimentálna zostava

Obr. 2b Pripojenie spektrometra

- ☐ Detektor iónov, ktorý umožňuje citlivú detekciu iónov vybraných hmotností, charakteristických pre hľadané molekuly.

Experimentálna zostava

Testovacie zariadenie sa skladalo z prívodného potrubia priemeru 100 mm, vzorky filtra priemeru 100 mm vloženéj medzi dve príruby, ventilátora, regulačného ventilu a odvodného potrubia, ktoré bolo flexibilným potrubím vyvedené do samostatnej miestnosti (vetranej vonkajším vzduchom, 480 m³h⁻¹; výmena vzduchu 12 h⁻¹), aby sa vylúčil spätný návrat organických látok z filtra do prívodného vzduchu testovacieho zariadenia počas meraní. Axiálne ventilátory neprestajne miešali vzduch v experimentálnom priestore, aby sa zabezpečil ustálený stav prívodného vzduchu (obr. 2).

Dve vzorky filtrov rozmeru ϕ 100 mm rozlične ošetrované pred samotným meraním boli po sebe umiestnené do zariadenia a merala sa za nimi koncentrácia organických látok. Vzorky sa vyrezali z toho istého kapsového filtra triedy EU 7, rozmerov (0,6 x 0,6 x 0,5) metra, s 10 kapsami, vyrobeného zo skleneného vlákna, s celkovou povrchovou plochou 6 m². Filter sa pôvodne používal niekoľko mesiacov v okolí Kodane v Dánsku a bol značne znečistený. Pokus s PTR-MS testoval nasledovné vzorky:

- Vzorka 1: vzorka použitého filtra bez akéhokoľvek ošetrovania;
- Vzorka 2: vzorka použitého filtra vetraná v testovacom zariadení najprv 48 hodín vonkajším vzduchom (prietokom 1 L/s) a následne vetraná 14 hodín vzduchom, ktorý obsahoval 100-110 ppb ozónu (rovnakým prietokom).

Predpokladá sa, že vetranie filtra podporuje desorpciu látok z povrchu a prítomnosť ozónu vo vzduchu vyvolá reakcie zachytených organických látok. Preto bola očakávaná nižšia koncentrácia VOC vo vzduchu za Vzorkou 2.

Postup

PTR-MS bol napojený na meraciu zostavu izolovanou meracou rúrkou, ktorou nasával vzduch pred analýzou. Meracia rúrka s kovovým koncom bola najprv oddelená od nadstavca umiestneného v potrubí za vzorkou. Boli vykonané dva cykly merajúce celý nastavený hmotnostný rozsah, monitorujúc okolitý vzduch priestoru (stav pozadia v miestnosti) za predpokladu, že sa zhoduje so vzduchom privádzaným do vzorky filtra. Meranie bolo potom pripojené k nadstavcu na testovacom zariadení a ventilátor testovacieho zariadenia sa zapol. Následne bolo vykonaných päť meracích cyklov na znečistenom vzduchu za vzorkou počas nasledovných 30 minút, po ktorých sa stav vzduchu zdal byť ustálený. Tento postup sa rovnako zopakoval pre obidve vzorky. Po meraní druhej vzorky sa ešte raz zmeral okolitý vzduch experimentálneho priestoru.

Výsledky

Výsledné údaje boli získané ako normalizované počty iónov za sekundu (normalized counts per second – ncps). Zobrazené sú tri stavy pre obidve vzorky a to špičkový a rovnovážny stav vzduchu meraného za filtrom a stav pozadia miestnosti, ktorý je ekvivalentný vzduchu pred filtrom. Údaje z merania okolitého vzduchu v priestore, ktoré sa uskutočnilo pred druhou vzorkou, sa považo-

Tab. 2 Výsledky z meraní spektrometrom PTR-MS pre obe vzorky filtrov

Hmotnosť [amu]	Použitý neošetrovaný filter				
	Špičková hodnota	% zo SP miestnosti	Rovnovážna hodnota	% zo SP miestnosti	SP v miestnosti
43	2500	266	1200	128	940
90	27	150	24	133	18
102	18	180	16	160	10
121	25	192	24	185	13
125	15	224	14	209	6,7
137	29	223	22	169	13
Použitý vetraný, ozonizovaný filter					
45	530	171	390	126	310
46	370	154	220	92	240
89	100	133	110	147	75
97	65	93	91	130	70
103	32	152	21	100	21
109	51	138	55	149	37
125	18	269	6,1	91	6,7
127	28	112	40	160	25
137	25	192	27	208	13

SP v miestnosti – stav pozadia v miestnosti

vali za reprezentatívne pre stav pozadia v miestnosti. Údaj z prvého meracieho cyklu vykonaného pre každú vzorku poskytol počiatočné špičkové hodnoty výskytu kontaminantov vo vzduchu. Posledné dva cykly v prípade neošetrovej vzorky a posledný jeden cyklus pre ošetrovaný (vetraný, ozonizovaný) filter, sa použili na výpočet rovnovážnej hodnoty. Výsledky pre najpočetnejšie ióny (podľa hmotnosti, jednotka: amu) sú uvedené v tab. 2. V tabuľke sú taktiež uvedené percentuálne vyjadrenia špičkových a rovnovážnych hodnôt vzhľadom k hodnotám stavu pozadia v miestnosti (SP v miestnosti = 100 %). Na základe tohto percentuálneho vyjadrenia je vyznačených päť najvýraznejších špičkových a päť najvýraznejších rovnovážnych hodnôt pre oba filtre.

Diskusia a záver experimentu

Vysoké množstvo niektorých iónov a tým aj zlúčenín za filtrom v porovnaní s ich hladinou v miestnosti súhlasí s degradáciou kvality vzduchu za filtermi. Výsledky poskytujú iba kvalitatívnu informáciu. Každá hmotnosť (amu) predstavuje jednu alebo viac protónovaných chemikálií. Tieto ióny môžu prislúchať k rodičovskej molekule (ióny majú typicky o jednu „amu“ viac ako rodič). Identifikácia zlúčenín je iba predbežná, ale niektoré z najpravdepodobnejšie identifikovaných iónov sú: 121 – Trimetylbenzén a 137 – Limonén. Vysoké hladiny iónov 79 amu (benzén) a 93 amu (toluén) v porovnaní so stavom pozadia v miestnosti boli namerané za neošetrovaným filtrom.

Výsledky získané z ošetrovej vzorky (vetranej 48 hodín vonkajším vzduchom a 14 hodín s ozonizovaným vzduchom) ukázali, že špičkové hodnoty nie sú výrazne vyššie ako rovnovážne hodnoty. Pravdepodobne vetranie filtra spôsobilo desorbciu niektorých polo-prchavých organických látok, zodpovedných za špičkové hodnoty uvádzané pre neošetrovaný filter v tab. 2. Zlúčeniny zodpovedné za zhoršenie vnútorného vzduchu zostávajú naďalej neznáme, pretože organické látky vo vzduchu sa veľmi ťažko merajú a identifikujú.

ZÁVER

Dnes už vieme viac o nebezpečných vplyvoch veľmi jemných častíc a o dôležitosti dobrého a zdravého vzduchu. Požiadavky na používanie účinnejších filtračných techník narastajú. Dôležitý je správny výber vhodnej metódy filtrácie. Parametre ako odlúčivosť, údržba, tlaková strata a náklady počas životnosti by

sa mali vždy zväziť. Tiež treba brať do úvahy fakt, že aj samotné vetracie a klimatizačné systémy vrátane filtrov môžu predstavovať zdroje znečistenia vzduchu (najmä z hľadiska prchavých organických látok). Správna starostlivosť o vzduchotechnické systémy je jedným z riešení tohto problému. Vývin neznečisťujúcich filtračných techník s vyššou účinnosťou a nízkou tlakovou stratou je ten správny smer dopredu. Aby sme sa touto cestou mohli vybrať, potrebujeme lepšie porozumieť existujúcemu znečisteniu vznikajúcemu z filtrov vzduchu. Za účelom takých vyšetrení sa môže použiť zmyslové (čuchové) hodnotenie kvality vzduchu ľudskými subjektmi. Táto metóda sa už bežne používa v poslednom desaťročí a v tomto prípade zjavne poskytuje lepšie výsledky ako chemické merania. Mnoho chemických látok sa dá len ťažko merať pri veľmi nízkych koncentráciách, kedy ale už majú negatívny dopad na človeka.

Citliví ľudia môžu vnímať zlučeninú vo vzduchu aj pri koncentráciách rádovo nižších ako je jej prahová hodnota citeľnosti podľa literatúry a navyše môžu vnímať zmes chemických látok aj pri ešte nižších koncentráciách. Treba mať na zreteli, že niektoré látky sa vnímajú ako veľmi nepríjemné, kým iné sa môžu považovať aj za príjemné [4].

Vo výskume v oblasti znečistenia vzduchu vzduchovými filtrami je potrebné pokračovať a istotne sa v ňom bude napredovať v blízkej budúcnosti.

Spojení na autora: gb@mek.dtu.dk

Použité zdroje:

[1] Alm, O.: Ventilation filters and their impact on human comfort, health and productivity. *International Centre for Indoor Environment and Energy, Technical University of Denmark*, Ph.D. Thesis (MEK-I-Ph.D. 01-02).

- [2] Bekö, G., Halás, O., Clausen, G., Weschler, C.J.: Initial studies of oxidation processes on the filter surfaces and their impact on perceived air quality. *Proceedings of Healthy Buildings 2003*, Singapore, Vol. 3, pp. 156-162.
- [3] Clausen, G., Alm, O., Fanger, P.O.: The impact of air pollution from used ventilation filters on human comfort and health. *Proceedings of Indoor Air 2002*, Monterey, USA, Vol. 1, pp. 338-343.
- [4] Fanger, P.O.: Providing indoor air of high quality: Challenges and opportunities. *Proceedings of Healthy Buildings 2003*, Singapore, Plenary 1.
- [5] Lindinger, W., Hansel, A., Jordan, A.: On-line monitoring of volatile organic compounds at pptv levels by means of Proton-Transfer-Reaction Mass Spectrometry (PTR-MS). Medical applications, food control and environmental research. *International Journal of Mass Spectrometry and Ion Processes* 173, 1998, pp. 191-241.
- [6] McDonald, B., Ouyang, M.: Air cleaning – particles. In: *Indoor Air Quality Handbook*; Spengler, J.D., Samet, J.M., McCarthy, J.F., Eds.; McGraw-Hill, New York, 2001, 9.1-9.28.
- [7] Pasanen, P.: Emissions from filters and hygiene of air ducts in the ventilation systems of office buildings. *Doctoral dissertation, Kuopio University Publications C. Natural and Environmental Sciences*, 80, 1998, pp. 1-77.
- [8] Pasanen P., Teijonsalo J., Seppänen O.: Increase in perceived odor emissions with loading of ventilation filters. *Indoor Air*, 4, 1994, pp. 106-113.
- [9] Pejtersen, J., Blyussen, P., Kondo, H., Clausen, G., Fanger, P.O.: Air pollution sources in ventilation systems". *Proceedings of CLIMA 2000*, Sarajevo, 1989, Vol.3, pp. 139-144.
- [10] Wargocki, P., Wyon, D.P., Fanger, P.O.: Call-centre operator performance with new and used filters at two outdoor air supply rates. *Proceedings of Healthy Buildings 2003*, Singapore, Vol. 3, pp. 213-218.
- [11] Weschler, C.J.: Chemical reactions among indoor pollutants: what we've learned in the new millennium. *Indoor Air*, 14, S7, 2004, 184-194. ■

* Nové syndromy: po SBS prichází EBS a SFS

O syndromu SBS (syndromu nemocné budovy), který vyvolává různé nevolnosti a omezení v důsledku špatné hygieny vzduchu v budovách se hovoří již dávno. Nyní se objevila nová zkratka EBS znamenající „syndrom těsné kanceláře“. Ten byl „objeven“ na základě výzkumu IFMA (International Facility Management Association) v amerických kancelářích. V posledních letech se snížila plocha kanceláře na osobu o 10 až 17 procent. Podle postavení v podniku připadá na jednoho vedoucího úseku okolo 29 m² plochy, na vedoucího oddělení cca 12 m² a na úředníka okolo 7 m². V důsledku toho dochází nejčastěji ke stíznostem na příliš málo místa pro podklady, na zvýšený hluk na pracovišti, nebo na značnou ztrátu soukromí. Navíc, kde v tomto prostoru pracuje více osob, vzrůstá i koncentrace CO₂ a pachů.

Syndrom SFS, tj. syndrom nemocného letadla se objevil na základě stížností pasažérů letadel. Proto provedla ASHRAE předběžnou studii, v níž se vyjádřilo na 400 cestujících a členů posádek s těmito výsledky: 44 % si stěžuje na vysoký tlak v uších, 31 % na suché oči, 22 % na sucho v krku, 20 % na přílišný hluk a 14 % na problémy s čelními dutinami. Jinak cestující shledávali kvalitu vzduchu v letadle za celkem příjemnou. Současná měření prokázala mírně zvýšené hodnoty CO₂ a ozonu, avšak uvnitř přípustných tolerancí. Tato studie nemá ještě, podle ASHRAE, vypovídací hodnotu a bude následovat velká studie.

CCI 11/2004

(Ku)

* Hodnoty potřeby nebo spotřeby?

V SRN se připravuje zavedení tzv. energetického pasu a hledá se jednotná definice. Energetický pas musí být, podle svazů a spolků zabývajících se technickým vybavením budov, postaven na základě hodnot potřeby roční energie pro vytápění. Používání hodnot spotřeby je nesprávné. Jen hodnoty potřeby, které se vypočtou na základě standardizovaných okrajových podmínek, jsou oproštěny od vlivu uživatele a manipulací. Rozhodující má být energetická kvalita celkového systému budovy. Použitím hodnot spotřeby v energetickém pasu, které by vyšly z měření skutečné spotřeby, není zaručena transparentnost energetického zhodnocení.

CCI 13/2004

(Ku)