



Měřicí protokol

č. 201002/01

Měření velikostně rozlišené filtrační účinnosti filtračního materiálu ULPA 15 Lydall
dodaných firmou SENSE Vital Air, s.r.o.

Zhotovitel: ÚCHP AV ČR, v.v.i., Oddělení chemie a fyziky aerosolů
Ing. Jakub Ondráček, PhD.

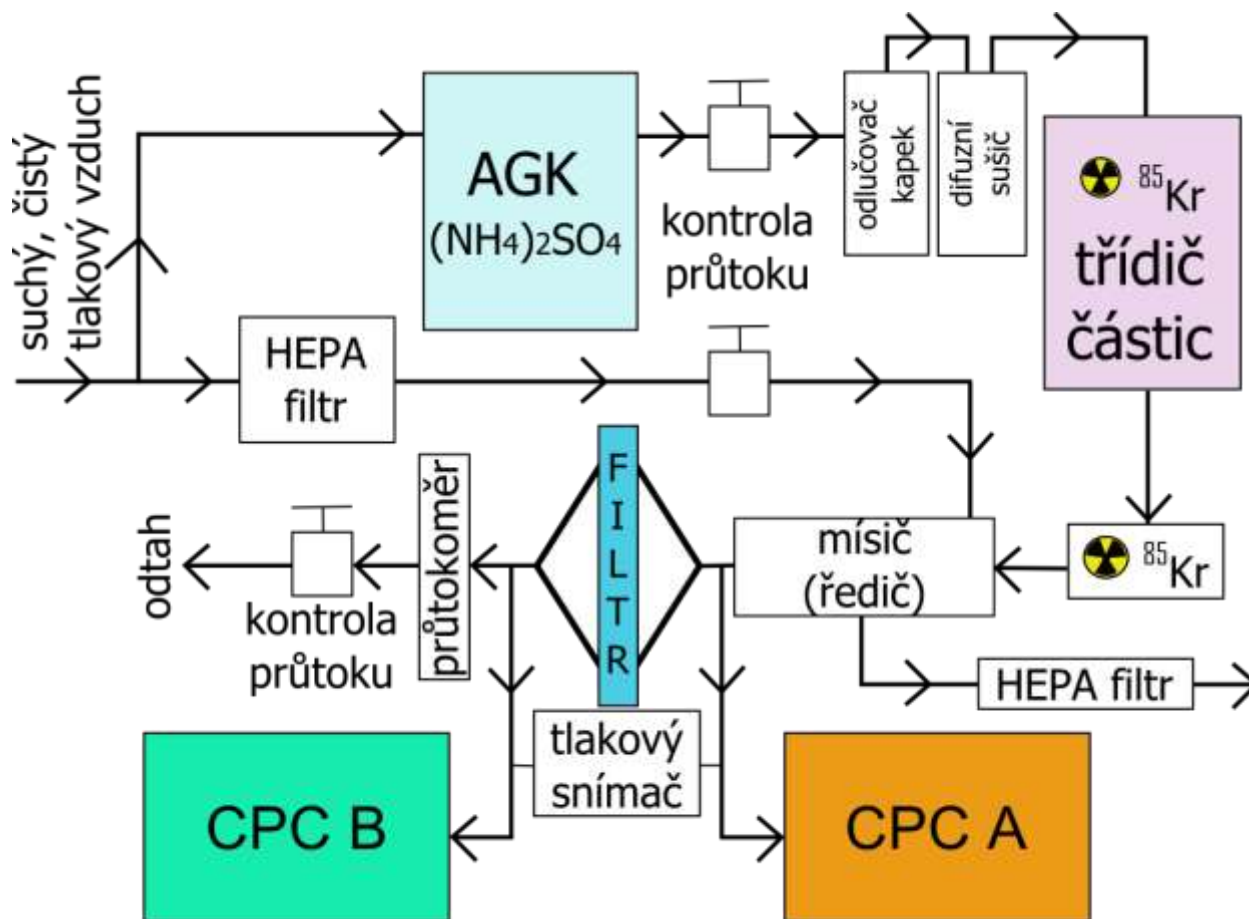
V Praze, dne 2.10. 2020

Účel měření

Na základě požadavku firmy SENSE Vital Air, s.r.o. byly testovány 2 vzorky filtračního materiálu ULPA 15 Lydall. Tento materiál byl testován na velikostně rozlišenou filtrační účinnost při čelní rychlosti 1,7 cm/s.

Postup měření

Velikostně rozlišená penetrace testovaným materiálem byla měřena systémem na testování filtrů vyvinutým na ÚCHP. Zjednodušené schéma měřicí aparatury je uvedeno na Obr. 1.



Obr. 1: Schéma měřicí aparatury. Čistý tlakový vzduch vstupuje do generátoru částic AGK s roztokem $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Takto vzniklý polydisperzní aerosol putuje přes odlučovač kapek, sušič a neutralizátor ^{85}Kr do třídiče částic DMA, kde jsou vybrány částice požadované velikosti. Po průchodu DMA je monodisperzní aerosol znovu zneutralizován pro zabránění elektrostatické depozice těchto částic v potrubí před filtrem. Po naředění aerosolu v mísiči byly koncentrace částic měřeny pomocí dvou CPC, jednoho umístěného před a druhého za filtrem tvořeným materiálem (FILTR). Monitorování tlakové ztráty přes filtr umožnilo průběžně sledovat případné změny vlastností filtru.



Měření probíhalo při zvoleném průtoku 1,4 l/min ve standardním držáku filtrů (pro měření kruhových vzorků o průměru 47 mm). Objemový průtok odpovídá čelní rychlosti 1,7 cm/s při volném průřezu vzorku 42 mm. Testovací aerosol byl generován nebulizérem (AGK-2000, Palas) dispergací roztoku soli $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ s koncentrací 1 g/l. Generovaný aerosol byl dále vysušen v difúzním sušiči se silikagelem, poté bylo zajištěno definované rozložení náboje na aerosolových částicích pomocí neutralizátoru obsahujícího ^{85}Kr a takto upravený vzorek byl dále veden do elektrostatičké třídiče aerosolových částic (Electrostatic Classifier, EC Goliath, Vývojové dílny ÚCHP, viz dále, v detailním popisu použitých přístrojů). Monodisperzní frakce aerosolu, vybrané v třídiči volbou napětí na vnitřní elektrodě, byly poté v mísiči naředěny tak, aby bylo dosaženo požadovaného průtoku přes testovaný materiál. Koncentrace aerosolových částic o dané velikosti byla pak stanovována současně před a za filtračním materiálem kondenzačními čítači částic (Condensation Particle Counter, CPC, viz. dále v detailním popisu jednotlivých částí).

Pozice čítačů byly pomocí série dvou elektromagnetických ventilů měněny pro každou vybranou velikost částic, aby se předešlo případných chybám v měření daným možnými rozdíly mezi oběma čítači. Případné změny kvality filtru (např. zanášení testovacím aerosolem) během měření byly sledovány měřením tlakové ztráty na filtru.

Testované materiály

Tab. 1 Tlaková ztráta [Pa] přes testovaný filtrační material ULPA 15 Lydall při čelní rychlosti 1,7 cm/s

Označení filtru	Čelní rychlost [cm/s]		
	1,7		
	Začátek	Konec	Median
AX6700HS_1	136	138	138
AX6700HS_2	136	140	138

Testované filtrační materiály byly monitorovány v průběhu celého měření z hlediska tlakové ztráty (odporu). Počáteční, koncová hodnota a hodnota mediánu změřené tlakové ztráty jsou uvedeny v tabulce Tab. 1.



Použité přístroje

Generátor částic

Jako zdroj předem známého aerosolu byl použit nebulizér (AGK-2000, Palas), který při použití daného roztoku ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, koncentrace 1 g/l) a tlaku proudícího vzduchu (2,5 baru) umožňuje produkovat aerosolové částice o velikostech mezi cca 20 nm a cca 400 nm.

Elektrostatický třídič částic

Pro výběr zvolené velikosti částic polydisperzního aerosolu byl použit EC (typ Goliath, Vývojové dílny ÚCHP), skládající se ze silikagelového sušiče, neutralizátoru ^{85}Kr a diferenciálního třídiče pohyblivosti částic v elektrostatickém poli (Differential Mobility Analyzer, DMA, typ Vienna, model Univerzita Stockholm). Vysušený polydisperzní aerosol je zde pomocí ^{85}Kr nabit definovaným způsobem a pak jsou na základě pohyblivosti částic v elektrostatickém poli (DMA) odebírány jednotlivé velikostní frakce aerosolových částic (v závislosti na nastaveném napětí na vnitřní elektrodě je odebrána jedna velikostní frakce).

Před samotným měřením byla pomocí dalšího, referenčního EC (EC 3080, TSI, USA) zkontrolována správnost výběru velikosti částic. Při tomto experimentu se použitý EC Goliath od referenčního EC nelišil o víc, než je velikostní rozlišení každého z přístrojů.

Kondenzační čítač částic

Pro určení početních koncentrací částic v každé velikostní frakci byl použit kondenzační čítač částic (CPC, model 3025A, TSI, USA). Částice jsou v přístroji nejprve zvětšeny kondenzací n-butanolu na jejich povrchu a pak detekovány opticky.

Na začátku testování byl nejprve proveden test nulové koncentrace CPC nasáváním vzduchu přes HEPA filtr, tedy zcela bez referenčního aerosolu, kterým se prokázalo, že aparatura je aerosolo-těsná. Při kolokaci CPC laboratorním vzduchem se ukázalo, že se koncentrace měřené čítači vzájemně neliší o více než 10 %. Abychom přesto maximálně kompenzovali rozdíly v detekční účinnosti jednotlivých čítačů, střídali jsme pomocí elektromagnetických přepínacích ventilů pozice čítačů před a za filtrem pro každou zvolenou velikost částic monodisperzního aerosolu. Tak byly získány výsledky ze dvou různých zapojení aparatur – v jednom bylo CPC A před filtrem a CPC B za filtrem (v dalším textu je toto zapojení označeno jako zapojení 1), ve druhém byly pozice CPC přehozeny (zapojení 2).

Zpracování naměřených dat

Hodnoty koncentrací částic před a za filtrem byly měřené pomocí CPC, Pro každou vybranou velikostní třídu (20, 35, 50, 70, 100, 140, 200, 280 a 400 nm) bylo provedeno několik měření – v závislosti na koncentraci částic za filtrem v obou zapojeních (čím méně částic tím více měření). Z každého takového měření pak byly určeny průměrné koncentrace a směrodatná odchylka. Na



základě těchto údajů byla pro každé měření vypočtena nejprve penetrace (doplňk k filtrační účinnosti) částic daným filtračním materiálem pomocí vzorce:

$$P = \sqrt{\frac{c_{2B} \cdot c_{2A}}{c_{1A} \cdot c_{1B}}}, \quad (1)$$

kde označení 1 odpovídá zapojení daného CPC (A nebo B) před filtrem a označení 2 zapojení za filtrem. Byla vypočtena i chyba měření penetrace na základě vzorce:

$$\sigma_P = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{c_{2B} \cdot c_{2A}}{c_{1A} \cdot c_{1B}}} \sqrt{\frac{\sigma_{c_{1A}}^2}{c_{1A}^2} + \frac{\sigma_{c_{1B}}^2}{c_{1B}^2} + \frac{\sigma_{c_{2A}}^2}{c_{2A}^2} + \frac{\sigma_{c_{2B}}^2}{c_{2B}^2}}, \quad (2)$$

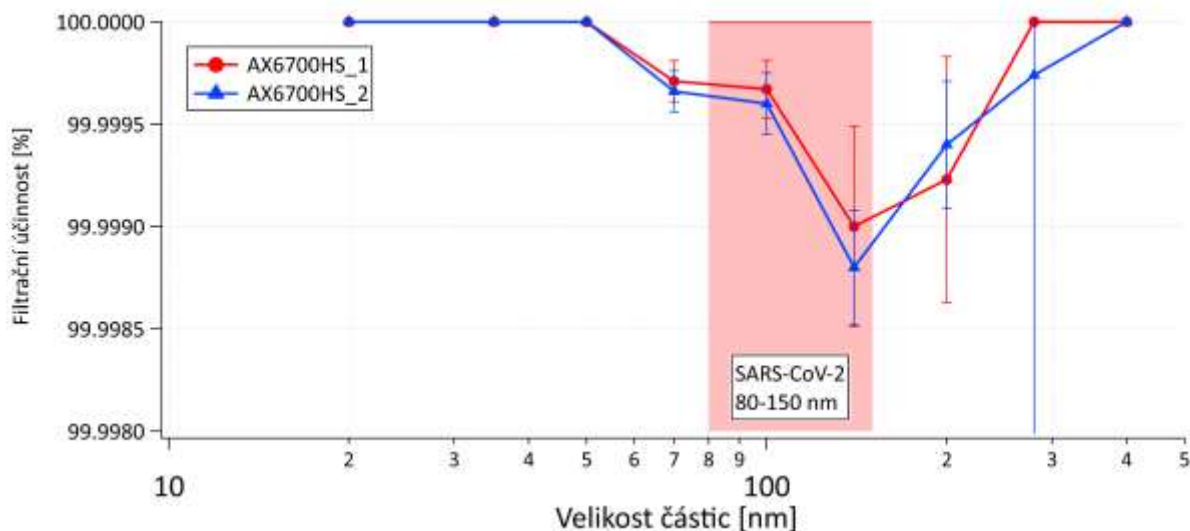
kde $c_{x,y}$, $x = \{1,2\}$, $y = \{A,B\}$, odpovídá změřeným koncentracím na CPC A či B při zapojení 1 nebo 2, a $\sigma_{x,y}$, $x = \{1,2\}$ a $y = \{A,B\}$, označuje směrodatnou odchylku daných měření.

Pro každou velikostní třídu byla ze všech příslušných měření stanovena průměrná penetrace i chyba jejího odhadu pomocí geometrického průměru.



Výsledky měření

Výsledek měření filtrační účinnosti testovaného materiálu ULPA 15 Lydall BUK je uveden na Obr.2. Z obrázku 2 je patrné, že z hlediska pozice minima filtrační účinnosti s ohledem na velikost částic (MPPS), má testovaný materiál filtrační minimum na cca 150 nm. Z hlediska filtračních parametrů má testovaný materiál ULPA 15 Lydall v minimu účinnost cca 99,999%.



Obr.2 Filtrační účinnost materiálu ULPA 15 Lydall pro čelní rychlost 1,7 cm/s.

V oblasti velikosti částic viru SARS-CoV-2 (t.j. cca rozmezí 80-150 nm), způsobujícího onemocnění COVID-19, má materiál ULPA 15 Lydall účinnost vyšší než 99,9985%.

V Praze, dne 2.10.2020

Jakub Ondráček