

Princip funkce a použití filtrů třídy HEPA a ULPA s ohledem na ochranu před virovým onemocněním

Ing. Petr Polách CSc.,
AI č.1000023 – technika prostředí staveb.

Ing. Petr Polách MBA,
<http://www.violorum.cz>

Úvod

Současná světová situace vyvolaná pandemií COVID-19 upoutala blíže pozornost veřejnosti na možnosti filtrace virových částic a jejich nosičů pomocí filtrů pro záchyt pevných a kapalných aerosolů. Mimo široce dostupné zdroje, které popisují základy použití filtrů se objevují i související zajímavosti, anebo naopak také zavádějící články. Považujeme proto za vhodné shrnout zde pár základních pojmů, jako návrh k orientaci v této problematice, především pro technickou veřejnost a profesionály v oboru klimatizační a ventilační techniky.

V historii bylo zkoušeno mnoho způsobů filtrací, druhů látek a materiálů k odstraňování částic prachu a aerosolů¹ ze vzduchu. Již z doby starého Říma byly známy bavlněné roušky chránící dýchací cesty lidí před prachem. Později bylo zjištěno v medicíně, že velmi malé částice prachu a aerosolů slouží také jako nosiče pro přenos mikroorganismů vzduchem obecně (platí také pro bakterie a viry). Tyto organismy následně ovlivňují zdraví člověka – za běžné situace kontaminují organismus dýchacími cestami, při operačních výkonech přes operační ránu apod.

Tabulka 1: Velikosti některých typických příměsí ve vzduchu [4]

viry	0,005 - 0,1 μm
bakterie	0,2 - 20 μm (většinou 0,5 - 1,5 μm)
výtrusy hub, mechu, lišejníků a kapradin	2 - 120 μm
pyl	10 - 200 μm
plísně	2 - 100 μm
cigaretový kouř	0,01 - 1 μm (střední hodnota 0,5 μm)
olejová mlha	0,04 - 1 μm
saze	0,01 - 0,5 μm
kouř (spalování org. hmoty)	1 μm .

¹ Aerosol je heterogenní směs malých pevných nebo kapalných částic v plynu. První případ se také označuje jako dým, druhý jako mlha. Rozptýlené částice mají velikost od 10 nm do 10 μm , což odpovídá shlukům několika molekul až částicím tak hmotným, že už nemohou snadno poletovat v atmosféře. [6]

V průběhu let se pro odlučování prachů a aerosolů ze vzduchu vyvinula celá řada způsobů². Naše pozornost se v tomto článku upírá na způsob odlučování částic ve vláknité vrstvě, složené z filtračních vláken. Podle velikosti a také principů, které se uplatní při takovém odlučování, rozdělují mezinárodní standardy následující skupiny filtrů³:

1) Standardní filtry

- hrubozrné, dříve značené G1 – G4, částice >10 μm
- jemnozrné, dříve označené F5 – F9, částice <10 μm

2) Filtry s vysokou účinností, pro záchyt velmi jemných prachů a aerosolů, tj. pro částice <1 μm

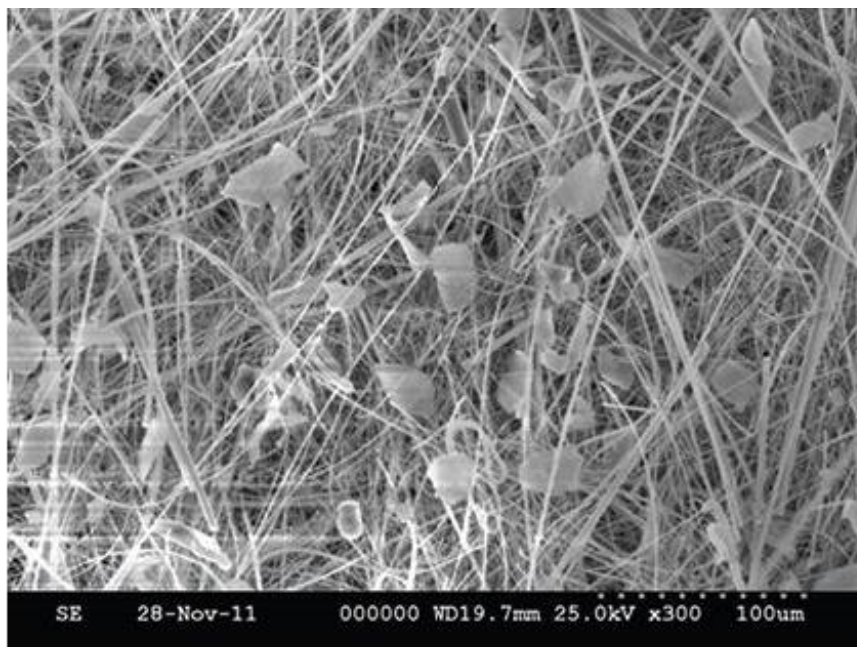
- HEPA (High Efficiency Particulate Air filter), také značené H10 – H14,
- ULPA (Ultra Low Penetration Air filter), také značené U15 – U17

Kapénková infekce je přenos respiračních patogenů na malých kapalných částech – vzduchem, z infikovaného na zdravého člověka. Kapénky jsou produkovány nejen během kýchní a kašláni, ale i během běžné řeči. [7] Budeme se proto zabývat mechanismem odlučování a strukturou u filtrů HEPA/ULPA, určených právě pro záchyt jemných částic aerosolů.

Filtry HEPA a ULPA – struktura, skladba, použití

Z hlediska použitých materiálů byla vyvíjena a zkoušena u těchto filtrů celá řada filtračních materiálů pro zachycení částic různých velikostí, z nichž se pro záchyt velmi malých částic dnes nejvíce používají vláknité filtrační materiály viz Obr.1

Přitom bylo zjištěno, že tyto filtry nepůsobí jako „síto“ a částice s průměrem 0,15 – 0,5 μm mnohem silněji pronikají tímto filtrem, než částice menší (<0,15 μm) a částice větší (>1 μm), viz Obr.2.



Obrázek 1: Vláknitá struktura HEPA filtru (svrchní vrstva) použitého pro dlouhodobou ochranu uzavřeného prostoru [1]

Tyto filtry jsou vyvíjeny a testovány na ten rozměr částic, který zachytávají nejhůře, tj. u nichž dochází k největšímu průniku. A nejhůře zachytávají částice o velikosti cca 0,15 až 0,5 μm. Přičemž ale HEPA filtr

² tím myslíme filtraci na vláknitém materiálu, elektrostatické odlučování, gravitační odlučování atd., nevyjímaje sorpční filtraci.

³ Nová série norem ČSN EN ISO 16890 – 1, 2, 3, 4 založená na účinnosti odlučování částic podle velikosti (ePM_x) zavádí rozlišení podle účinnosti odloučení částic ePM₁₀, ePM_{2,5}, ePM₁ – blíže viz [3].

dosahuje u takovýchto částic záchytu 99,97 %, resp. ULPA filtr pak dosahuje záchytu až 99,997 %. Přesnější rozdělení a vyčíslení přípustné lokální netěsnosti detailněji je uvedeno např. v [4]. Odtud také vyplývá možná oblast použití vysoce účinných filtrů.

Tabulka 2: Oblasti použití filtrů H11 až H13, vybráno z [4]

H 11	Všeobecně	Typické příklady použití
	<ul style="list-style-type: none"> • velmi účinné pro všechny druhy prachů a aerosolů, včetně virů 	<ul style="list-style-type: none"> • shodné jako pro použití filtrů H 10, pouze pro náročnější aplikace
H 12 - H13	Všeobecně	Typické příklady použití
	<ul style="list-style-type: none"> • vysoce účinné pro všechny druhy prachů a aerosolů, včetně virů 	<ul style="list-style-type: none"> • základní filtr pro všechny čisté prostory třídy 100 - 100 000 (dle FED-STD-209e) a s tím související aplikace v různých oblastech průmyslu, zdravotnictví a výroby léků • odsávací systémy pracující s nebezpečnými aerosoly (jaderná energetika, zdravotnictví, biologické prostory)

Celkový efekt zachycování částic HEPA/ULPA filtrů

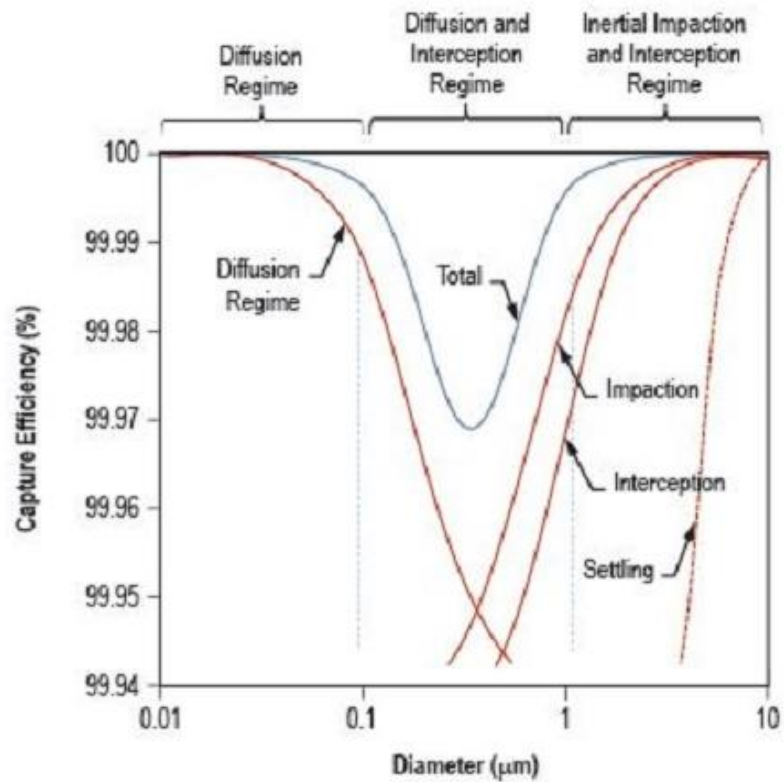
Jak jsme již uvedli nahoře, u vláknitých filtrů je důležité vzít v úvahu všechny fyzikální principy záchytu (odloučení) částic. Vezměme v úvahu Obrázek 2, graf závislost celkové odlučivosti (uvedeno v %) na průměru částic (uvedeno v μm) [1].

Celková (Total) účinnost je u HEPA a UPLA filtrů složena ze čtyř mechanismů:

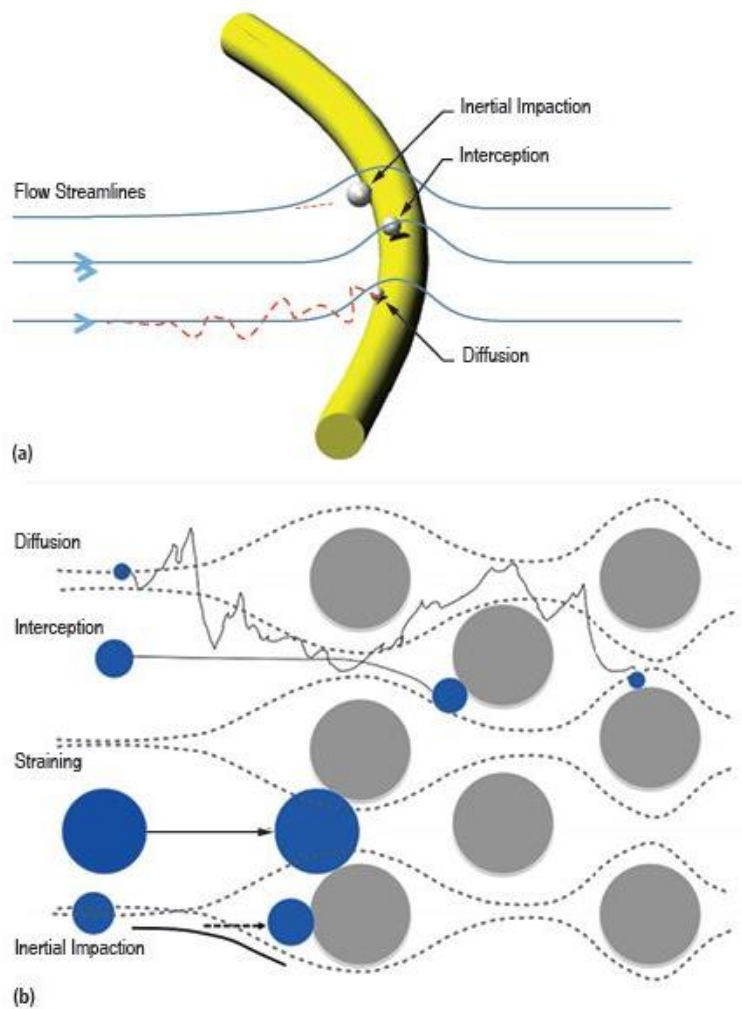
- Setrvačný (inertial Impaction), platný pro částice ($>1 \mu\text{m}$) a větší, kdy při obtékání vláken a při určité vzdálenosti od nich opouští částice dráhu unášecího media (vzduch) a setrvačností naráží na povrch vláken a zastavuje se, ulpí kombinací sil (Van der Waalsovy síly, elektrostatické a kapilární).
- Intercepční (Interception) se navíc projevuje při vazkém obtékání vlákna s uvažováním vlivu sousedních vláken.
- Difusní efekt (Diffusion) – kdy velmi malé částice ($<0,3 \mu\text{m}$) se pohybují v mediu (vzduch) ovlivněny Brownovým pohybem, vychylují se nárazem na molekuly vzduchu a zůstávají v prostoru filtru. Pravděpodobnost tohoto efektu roste s klesající velikostí částic.
- Sítový efekt, dominuje pro relativně velké částice, především na svrchních vrstvách filtru (viz také Obrázek 1).

Rozborem použitých HEPA filtrů z ISS⁴ pod elektronovým mikroskopem, zjistili specialisté v laboratořích NASA, že první vrstva je celá pokrytá zbytky bakterií a pevných částic [1]. Vnitřní struktura filtru je plná zachycených menších částic.

⁴ ISS – International Space Station, Mezinárodní vesmírná stanice



Obrázek 2: Odlučivost podle velikosti částice [1]



Obrázek 3: Odlučovací mechanismy na vláknité struktuře [1]

Materiály pro výrobu těchto filtrů (HEPA, ULPA) jsou tvořeny svazky vláken (umělohmotných z polyesteru a polyethylenu, nebo skleněných) s velkým podílem dutin.

Pro vyšší stupně filtrace se používá směs skleněných vláken v širokém spektru průměrů, které se speciálními postupy zpracovávají na neorientované rouno (ve kterém jsou vlákna třídídimenzionálně neuspořádaně zapracována). Následně je toto rouno speciálními postupy mechanicky, termicky a chemicky opracované a zpevněné.

Někdy se mluví u těchto filtrů také jako o filtrech akumulčních (pohybují velké množství částic), hloubkových filtrech anebo také vláknových filtrech. Na odlučivost pevných částic má obecně vliv výška filtračního média. Velikost tohoto média se určuje v palcích, u nás v milimetrech. Efektivní filtrační plocha tedy dosahuje i 40násobku čelního průřezu.

Pro přehled nabízíme Tabulku 2 se srovnáním nejdůležitějších strukturálních parametrů u standardních jemných filtrů a u filtrů HEPA/ULPA.

Tabulka 3: Srovnání strukturálních parametrů jemných a vysoce účinných filtrů [2]

Parametr	Hrubé a jemné filtry	HEPA/ULPA filtry
Střední aritmetický průměr vláken	5 – 30 μm	0,1 – 2 μm
tloušťka filtrační vrstvy	1 – 30 mm	0,1 – 1 mm
objemové zaplnění	0,5 – 4 %	2 – 6 %
Délka vláken	10 – 80 mm	0,1 – 1 mm

Standardní podmínky při provozování HEPA a ULPA filtrů

Charakteristika, frakční odlučivost, diferenční tlak, akumulční schopnost a doba mezi výměnami filtru jsou mezi sebou úzce provázány. Počáteční tlak ztráta u těchto filtrů bývá 80 až 250 Pa. Specifická konečná tlaková ztráta je dle výrobce (např. kolem 450 Pa), ale je podstatně vyšší než tlaková ztráta zaneseného standardního hrubého či jemného filtru. Proto nelze snadno nahradit např. jemný filtr ve vzduchotechnické jednotce novým filtrem HEPA.

Vysoce účinné HEPA a ULPA filtry jsou akumulční (absorbují partikulární částice) a nejsou proto určeny k regeneraci, nýbrž musejí být ekologicky likvidovány. Filtry jsou řazeny do kategorie nebezpečného odpadu a jako s takovými se s nimi musí zacházet – likvidaci musí provádět k tomu určená firma s patřičnými oprávněními.

Mezi faktory ovlivňující dobu výměny filtru patří vzdušná vlhkost a teplota. Stav proudícího vzduchu má významný vliv na mikrobiologický nárůst na filtru, a tím ovlivňuje možnost průniku bakterií. Aby se z filtru následně nestal emitátor mikroorganismů, je nutné zvážit provozní podmínky a kvalitní a pravidelný servis.

DISKUSE-ZÁVĚR

V období zvýšené pozornosti a hygienických požadavků ve vztahu k virovým nákazám je dobré zvažovat možná opatření. Využití HEPA filtrů má své důvody a zavedenou praxi. Jejich instalace dává smysl ve vícestupňovém filtračním uspořádání, v odůvodněných případech. Dle názoru autorů nelze doporučit i v dnešní době pro běžného uživatele nic „lepšího“ než pobyt na čerstvém vzduchu.

Pokud však dojde na další hygienická opatření a s tím přijdou dotazy uživatelů a provozovatelů budov, můžeme říct, že využití filtrace s instalovanými HEPA filtry (HEPA filtrace) je jedním z bezproblémových a funkčních řešení, a to nejen v budovách zdravotnického charakteru. Přenosu infekcí (konkrétně SARS-CoV-

2) se takto ve svém informačním dokumentu [4] z dubna 2020 věnuje americká oborová asociace ASHRAE⁵. Uvádí se zde, že přenos virové infekce vzduchem je dostatečně pravděpodobný. A tedy stojí za to expozici člověka vůči virovým částicím řídit, tj. aktivně ji snižovat.

Dokument uvádí řadu efektivních způsobů, které se navzájem mohou doplňovat. Nabízí se zde změna v provozování budovy, resp. změna v nastavení⁶ nebo změna provedení HVAC systému budovy. Za účinnou strategii je jmenována: vysoce účinná filtrace v místnostech s větším množstvím lidí nebo se zvýšeným rizikem přenosu infekce; změna teploty a vlhkosti; instalace lokálního odsávání; úpravy v proudění vzduchu; nebo instalace lokální HEPA filtrace.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Perry J.L., Agui J.H., Vijayakumar R., Submicron and Nanoparticulate Matter Removal by HEPA-Rated Media Filters and Packed Beds of Granular Materials, NASA STI, Alabama, May 2016, NASA/TM—2016–218224
- [2] Gail L., Hortig H-P., VDI Buch: Reinraumtechnik, Springer-Verlag, Berlin, 2002, ISBN 978-3-642-19435-1
- [3] ČSN EN ISO 16890,1,2,3,4, UNMZ 2019
- [4] Hemerka J., Filtrace atmosférického vzduchu I, II, III, TZB-info online <https://vetrani.tzb-info.cz/vzduchotechnicka-zarizeni/5815-filtrace-atmosferickeho-vzduchu-i>, cit. 2020-06
- [5] Board of Directors, ASHRAE Position Document of Infectious Aerosols, Atlanta, April 2020
- [6] Wikipedia, Aerosol, online <http://cs.wikipedia.org/wiki/Aerosol>, cit. 2020-06
- [7] Wikipedia, Kapénková infekce, online https://cs.wikipedia.org/wiki/Kap%C3%A9nkov%C3%A1_infekce, cit. 2020-06

RECENZE

doc. Ing. Aleš Rubina, Ph.D.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov, Veveří 95, 602 00 Brno
Znalec v oboru stavebnictví a ekonomika, specializace vzduchotechnická a klimatizační zařízení

V současnosti neexistují pro filtraci vzduchu efektivnější zařízení než vzduchové systémy obsahující v článku zmiňované typy filtrů. Aktuální nanovlákené vzduchové filtry (zaměstnanci ústavu TZB spolupracují při jejich vývoji) vykazují vysoké stupně odlučivosti a účinnosti, ale v článku zmiňované tlakové ztráty nejen v čistém stavu, ale zejména při středním zanesení filtrů, vykazují několika násobně vyšší hodnoty než prezentované HEPA a ULPA filtry. Z hlediska energetické náročnosti budovy, a tedy tlaku na nízkou spotřebu energie při dopravě vzduchu, jsou zatím vzduchové nanofiltry nepoužitelné.

Eliminace mikroorganismů ve vzduchu je možná i jinými systémy, které využívají chemické, či fyzikální sterilizace vzduchu. Jsou založeny na principu ionizace, UV záření apod. Tyto systémy mají vysokou účinnost eliminace mikroorganismů, nicméně aerosolové částice neodlučují a jsou ve vyšších koncentracích přítomným lidem v době expozice zdravotně nebezpečné. Výjimku tvoří cirkulační zařízení s UV zářiči, které se instalují mimo exponovaný prostor lidmi. Z hlediska návrhu a provozu vzduchotechnického zařízení je potom pro maximální efektivitu a eliminaci uváděných bakterií a virů vhodná kombinace tzv. „HEPA filtrace“ s UV zařízením pracujícím s oběhovým vzduchem. Z praxe nicméně jednoznačně vyplývá, že systémy

⁵ American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

⁶ a takto také řada provozovatelů reagovala např. odstavením některých rekuperátorů; nastavením podtlaku v určitých provozních prostorech apod.

s vícestupňovou filtrací vzduchu a umístěnými HEPA, či ULPA filtry zajišťují zcela bezpečný hygienický provoz obsluhovaných prostorů po stránce mikrobiálního a aerosolového mikroklimatu.