

POŽADAVKY NA RESPIRÁTORY A OCHRANNÉ MASKY

Karel Doušek

Ing. Karel Doušek, CSc. - Airtechnik

Vzhledem k současné epidemii respiračního onemocnění Covid 19 se objevují různé nepřesné informace o respirátorech a ochranných maskách a proto jsou v dalším textu uvedeny informace o názvosloví, jejich konstrukci, vlastnostech, požadavcích a funkci.

Respirátorem se obvykle nazývá „**Filtrační polomaska k ochraně proti částicím**“ sloužící k osobní ochraně dýchacího ústrojí před nebezpečnými částicemi definovaná ČSN EN EN 149:2001 + A1:2009, zhotovená z filtračního materiálu. Polomaska podle této normy též může také být konstruována jako lícnicová část s pevně připojeným filtrem.

Na polomasky a masky s odpojitelnými filtry se vztahuje norma ČSN EN 143, jiné označování tříd filtrů P1, P2, P3 a dosahují výrazně lepší ochrany, tj. menších průníků (vyšší odlučivosti).

FILTRAČNÍ POLOMASKY

Pro filtrační polomasky (respirátory) určené k ochraně proti částicím se používá následující terminologie:

Respirátor je nepřesný název ochranné polomasky zhotovené z filtračního materiálu, určené k osobní ochraně dýchacího ústrojí před nebezpečnými částicemi. Podle ČSN EN EN 149:2001 + A1:2009 se správně nazývá „**Filtrační polomaska k ochraně proti částicím**“.

Ochrana proti částicím se zkouší zkušebním zařízením využívající aerosol tvořený částicemi NaCl nebo Parafinového oleje podle ČSN EN 143. Zanášení filtru se zkouší dolomitovým prachem též podle ČSN EN 143.

Třída ochrany respirátoru se podle normy EN 149:2001 + A1:2009 označuje **FPP1, FFP2, FFP3** a je dána průnikem částic respirátorem.

Průnik respirátorem P_c [%] je podíl částic prošlých respirátorem k celkovému množství částic v prostředí, určený pro zkušební aerosol částic NaCl nebo parafinového oleje, za pomoci zkušebního zařízení definovaného v ČSN EN 143. Průnik se pro parafinový olej stanovuje z koncentrace aerosolu „před“ a „za“ respirátorem měřené fotometrem (nefelometrem) nebo pro aerosol NaCl měřené plamenným fotometrem.

Celkový průnik P [%] respirátorem se skládá z průníků

- filtrem
- vydechovacím ventilem (je-li použit)
- netěsností těsnicí linie lícnice (zkouší se pro hladce oholené osoby)

Pozn. Je zřejmé, že netěsně nasazený respirátor nechrání podle parametrů dané třídy

Celkový průnik se ověřuje laboratorními zkouškami pro 10 osob při 5 cvičeních pro každou. Pro danou třídu ochrany musí z 50 výsledků min. 46 z nich vyhovět požadavku na celkový průnik a současně i 80% aritmetických průměrů průniku pro 10 osob musí vyhovět přísnějšímu požadavku.

Požadavky na **celkový průnik** pro jednotlivé třídy ochrany respirátoru pro zkušební aerosol podle ČSN EN 143

FFP1 <25 % pro 92% hodnot, průměrný průnik < 22 %

FFP2 <11 % pro 92% hodnot, průměrný průnik < 8 %

FFP3 < 5 % pro 92% hodnot, průměrný průnik < 2 %

Průnik filtrem P_f [%] respirátoru je menší než jeho celkový průnik a měří se pro **plynotěsně upnutý** respirátor s vyřazeným ventilem zkušebním zařízením podle ČSN EN 143 při průtoku 95 l/min.

Požadavky na **průnik filtrem** pro jednotlivé třídy ochrany respirátoru pro zkušební aerosol podle ČSN EN 143

FFP1 <20 % (odlučivost > 80 %) tj 1,25x lepší než celý respirátor

FFP2 < 6 %, (odlučivost > 94 %) tj 1,83x lepší než celý respirátor

FFP3 < 1 %, (odlučivost > 99 %) tj 5x lepší než celý respirátor

Účinnost (odlučivost) (O) [%] respirátoru je podíl zachycených částic k celkovému množství částic v prostředí a je doplňkem průniku do 100%. Např. průniku P 5% odpovídá odlučivost $O = 100 - P = 95\%$.

Ochranný faktor respirátoru je násobek NPK-P (Nejvyšší Přípustná Koncentrace prachu v Pracovním prostředí) pro který je schválen. Určuje se po laboratorních zkouškách na osobách podle dosaženého celkového průniku.

ochranný faktor FFP1 je 4x NPK-P pro dovolený max. celkový průnik 25% (barevný kód žlutá)

ochranný faktor FFP2 je 12x NPK-P pro dovolený max. celkový průnik 11% (barevný kód bílá)

ochranný faktor FFP3 je 20x NPK-P pro dovolený max. celkový průnik 5% (barevný kód červená)

Zkušební aerosoly definované ČSN EN 143 k měření průniku ochranných polomasek.

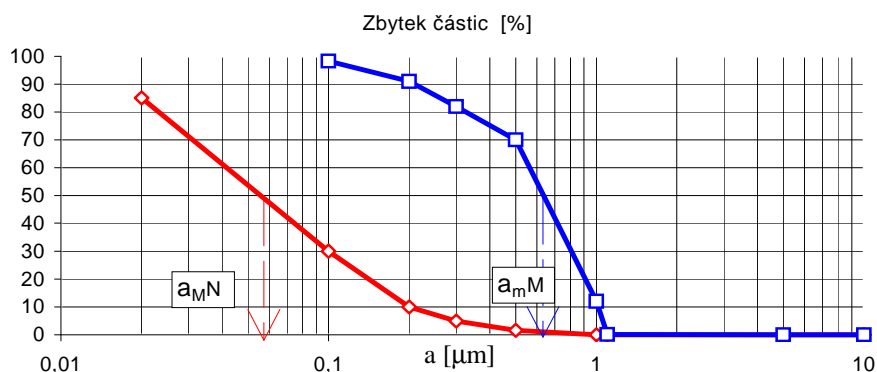
V normě jsou pro měření účinnosti polomasek popsána dvě různá zkušební zařízení a definovány v nich generované zkušební aerosoly. Aerosol parafinového oleje stejně jako NaCl vzniká pneumatickým rozprašováním kapaliny, ale částice NaCl vzniknou z kapek odpařením vody.

Aerosol NaCl má přibližně log-normální rozdělení, medián podle hmotnosti $a_M=0,6 \mu\text{m}$ a podle četnosti $a_{MN}=0,06 \mu\text{m}$

Pozn.1 V normě jsou pro aerosol NaCl na Obr.4 uvedeny křivky propadu, zde jsou uvedeny jako křivky zbytku (doplňků do 100%).

Pozn.2 V české normě jsou v Obr. 4 pro aerosol NaCl chybně popsány osy a křivky. Jsou prohozeny popisy os a křivek.

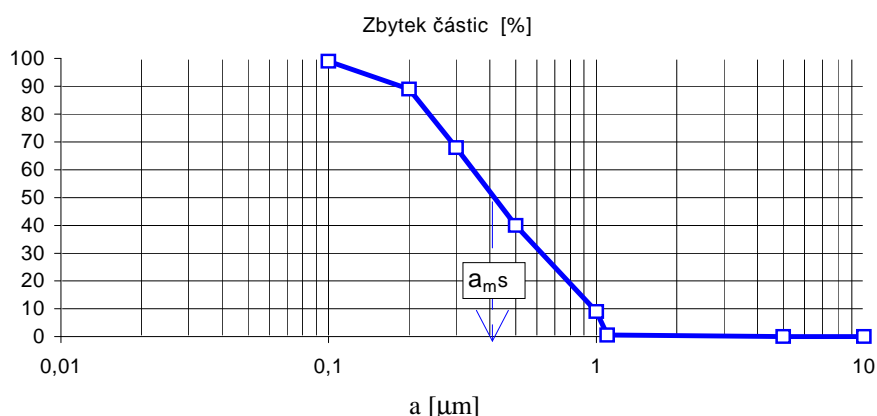
velikost částic [μm]	0,02	0,1	0,2	0,3	0,5	1	1,1	5
zbytek početní [%]	85	30	10	5	1,5	0,01	0	0
zbytek hmotnostní [%]	99,98	98,2	91	82	70	12	0,1	0



Aerosol parafinového oleje, log-normální rozdělení, medián podle hmotnosti $a_M=0,4 \mu\text{m}$, podle četnosti $a_{MN}=0,06 \mu\text{m}$

Pozn. V normě je pro parafinový olej uvedena křivka zbytku podle Stokesova průměru (ekvivalentní průměr odpovídající průměru koule se stejnou pádovou rychlostí).

velikost částic [μm]	0,02	0,1	0,2	0,3	0,5	1	1,1	5
křivka zbytku [%]	100	99	89	68	40	9	0,5	0



Dýchací odpor

Důležitým parametrem pro uživatele je dýchací odpor, který je v ČSN EN 149 definován maximálním odporem pro vdech a výdech při čistém a zaneseném filtru při definovaném průtoku 30 a 95 l/min.

Pro čisté polomasky tříd FFP1, 2 a 3 je dovolený vdechovací odpor při průtoku 95 l/min 2,1; 2,4; 3 mbar (210 - 300 Pa) Po zanesení polomasky třídy FFP1 až 3 bez ventilku je přípustný vdechovací odpor 3 - 5 mbar (300 - 500 Pa) a pro typ s ventilkem 4 - 7 mbar (400 - 700 Pa, vše při 95 l/min.

KONSTRUKCE RESPIRÁTORU (filtrační polomasky proti částicím)

Filtrační polomasky zajišťují filtraci vdechovaného vzduchu vláknitým filtračním materiálem, který je spolu s výztužnou sítí a krycím textilem vytvarován do tvaru polomasky, nebo sešit z dílů, které pak tvoří polomasku. V místě kořene nosu bývá vložen kovový pásek, který po přihnutí zajistí těsné dosednutí okraje polomasky v této oblasti. Ve vláknitém materiálu může být vloženo aktivní uhlí pro ochranu proti obtěžujícím pachům, ale použitelné jen do povolené NPK.

Při nádechu je **vzduch filtrován filtračním materiálem**, ale pokud je pro usnadnění výdechu respirátor vybaven výdechovým **ventilkem**, pak vydechovaný vzduch **proudí bez filtrace přímo ven**.



Respirátor FFP2 s výdechovým ventilkem

Tvarovaný ←
Skládaný →

Pozor! respirátory s ventilkem **nechrání vůbec okolí** před vydechovanými kapénkami



Respirátor FFP2 bez ventilku

Pozor! respirátory bez výdechového ventilku **chrání i okolí**

Pro výrobu respirátorů FFP2 lze použít filtrační materiál odpovídající třídě filtrace F8, který je účinný proti jemným kapkám rozprašených tekutin, prachům, dýmům z technologických procesů, bakteriím.

Pro výsledný efekt použití respirátoru je důležitá konstrukce a provedení dosedací plochy lícnice, která musí zajistit co nejmenší průnik škodlivin mimo filtr.

Respirátor **FFP2** má mít podle normy pro popsany zkušební aerosol odlučivost **filtru > 94%**, ale vzhledem k průběhu frakční odlučivosti použitého filtru má pro částice > 5 µm již odlučivost >99%. Průběh frakční odlučivosti pro ekvivalent F8 je uveden na obrázku dále.

Jak bylo uvedeno výše, účinnost (odlučivost) **celého respirátoru** je menší o průniky ventilkem a netěsností lícnice, což pak pro zkušební aerosol má být minimálně 89- 92%.

Pozn. Je vidět, že norma předpokládá pro těsně nasazený respirátor bez ventilku cca 2,5 x lepší ochranu.

Respirátor **FFP3** má podle normy pro popsany zkušební aerosol odlučivost **filtru > 99%**, což vzhledem k průběhu frakční odlučivosti je pro částice > 5 µm odlučivost >99,9 %.

Účinnost (odlučivost) **celého respirátoru** snižena o průniky ventilkem a netěsností lícnice pak pro zkušební aerosol má být minimálně 95- 98%.

Pozn. Je vidět, že norma předpokládá, že těsně nasazený respirátor bez ventilku zajistí cca 2 až 5 x lepší ochranu.

OCHRANA PROTI NEBEZPEČNÝM ČÁSTICÍM

Kapénky produkované člověkem při mluvení a kýchání obsahují částice v širokém rozmezí, ale hmotnostní podíl částic odpovídajících zkušebnímu aerosolu je velmi malý. Kapénky podle literárních údajů obsahují medián počtu částic mezi cca 1 - 5 μm , přibližně log-normální rozdělení četnosti a proto i významný podíl velkých částic 10 - 100 μm , které nesou nejvíce infekčního agens. V blízkém okolí kýchajícího člověka jsme na površích zjistili i jednotlivé kapky o velikosti až 1 mm (10x větší částice obsahuje 1000x více agens). Kapénky jsou tvořeny slinami, hlenem a odumřelými buňkami sliznic. U nemocného člověka kapénky obsahují patogenní viry nebo bakterie. Samostatně, bez kapénky, nemůže virus existovat.



Příklad rozložení velikostí kapének je uveden dále ve formě křivky zbytku.

Respirátor **FFP2**, který má mít, pro částice zkušební aerosolu s mediánem podle hmotnosti 0,4 nebo 0,6 μm , odlučivost filtru **>94%**, má pro částice $> 5 \mu\text{m}$ odlučivost **>99%**. Proto výše uvedené kapénky odfiltruje prakticky úplně tj. s celkovou **odlučivostí přes 99%** (viz frakční odlučivost dále).

Respirátor **FFP3** má mít podle normy pro popsany zkušební aerosol odlučivost **filtru > 99%**, což vzhledem k průběhu frakční odlučivosti je pro částice $> 5 \mu\text{m}$ odlučivost **>99,9 %**. proto uvedený prach

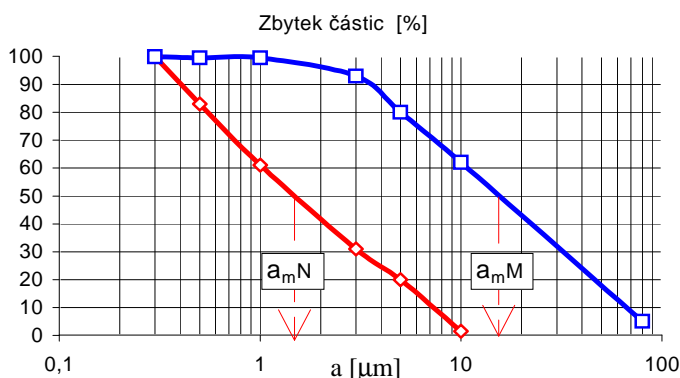
odfiltruje úplně tj. s celkovou hmotnostní **odlučivostí cca 99,9 %**.

Při filtraci nebezpečných infekčních agens obsažených v kapénkách je pro pracovníka větším **rizikem**, než průnik filtrem respirátoru FFP2 nebo 3, průnik kapének netěsnícím ventilkem a mezerou mezi obličejem a dosedací plochou respirátoru při nesprávném nasazení nebo jeho nevhodné velikosti.

Kapénky podle našich zkoušek jeví medián četnosti v oblasti nad 1 μm a 90 % hmotnosti nesou částice přes 3 μm . Z toho plyne, že filtr respirátoru chrání podstatně lépe než jsou uvedené účinnosti podle normy. Příklad rozložení velikostí kapének je uveden dále.

Křivka zbytku (početní a hmotnostní) **kapének** ve vzduchu (měření LPC a výpočet Doušek)

Velikost částic [μm]	0,1	0,3	0,5	1	3	5	10
Zbytek početní [%]	N/A	100	83	61	31	20	1,5
Zbytek hmotnostní [%]	N/A	99,9	99,5	99,5	93	80	62



Křivka zbytku definuje jaký je podíl částic $\geq a$ [μm] (tj. částic dané velikosti a všech větších) na jejich celkovém množství.

Jedna křivka se definuje pro počet a druhá pro hmotnost částic. Pro log.normální rozložení velikostí částic lze posun hmotnostní křivky proti početní vypočítat. Z grafu je vidět, že zobrazený aerosol obsahuje 50% částic $\geq 1,5 \mu\text{m}$, 50% hmotnosti připadá na částice $\geq 15 \mu\text{m}$ a částice přes 1 μm představují 99,5 % hmotnosti.

Pozn. Křivka je vybrána jako „worst case“ z více měření.

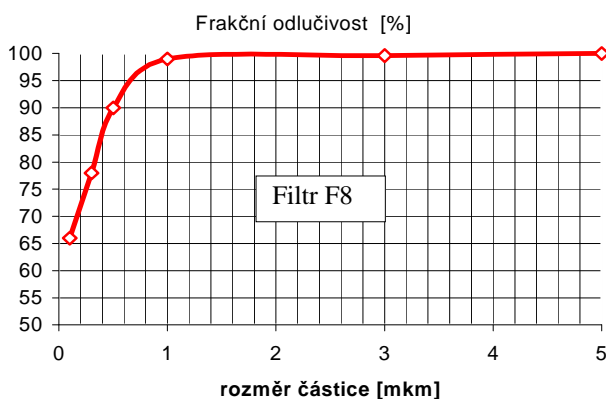
Atmosférický prach (aerosol) složený běžně z částic v rozsahu velikostí 0,01 - 20 μm obsahuje přibližně 99 % celkového počtu částic menších než 1 μm , ale u hmotnostního rozdělení tyto částice představují pouze okolo 10 % celkové hmotnosti částic. Obecně se atmosférický aerosol rozděluje podle průměru částice x do tří velikostních kategorií: ultrajemné částice $x \leq 0,1 \mu\text{m}$, jemné částice $0,1 < x \leq 1 \mu\text{m}$ a hrubé částice $x > 1 \mu\text{m}$.

Je vidět, že většina hmoty částic atmosférického aerosolu je nad mediánem zkušební aerosolu používaného pro měření podle ČSN EN 149 a proto i pro tento aerosol bude respirátor dosahovat lepší ochrany než je deklarovaná.

PŘÍKLAD FILTRACE FILTREM TŘÍDY FFP2 nebo P2 (F8)

Frakční odlučivost (závislost odlučivosti na velikosti filtrovaných částic)
pro filtrační materiál F8 při rychlosti 5 cm/s byla zjištěna následující (měření Doušek)

velikost částic [μm]	0,1	0,3	0,5	1	3	5
odlučivost [%]	66	78	90	99	99,6	99,99
průnik [%]	34	22	10	1	0,4	0,01



Ze zobrazené křivky frakční odlučivosti filtru a křivky zbytku kapének uvedené výše je vidět, že při rozložení počtu kapének s mediánem 1,5 μm a mediánem podle hmotnosti 15 μm zachytí uvedený filtr min 99,5 % jejich hmotnosti.

Průnik zjištěný zkušebním aerosolem podle ČSN EN 143 je významně větší (horší) než bude výsledek pro atmosférický prach nebo kapénky. Je to proto, že většina částic zkušebního aerosolu leží v oblasti do 1 μm tj. oblasti menší účinnosti filtrace uvedeného filtru.

PŘÍKLAD FILTRACE FILTREM TŘÍDY P3 (HEPA)

Filtry HEPA používají jako filtrační medium **papír ze skleněných mikrovláken**, jejichž rozložení průměrů vláken tvoří obvykle **polydisperzní systém** v rozmezí **od 0,1 do 30 μm** s **maximem** počtu v oblasti **desetin až jednotek μm**. Papír tvoří prostorovou strukturu s naplněním cca 2%. Větší odlučivosti při menším tlakovém spádu dosahují materiály s větším podílem submikronových vláken („nanovláken“). Třída filtrace filtračního media závisí na rychlosti protékajícího vzduchu viz příklad parametrů výše.

Pro filtr **P3** lze použít například filtrační medium (papír) LYDAIR GRADE 3428, který podle použité čelní rychlosti odpovídá třídě filtrace H13 - H14.

Třída filtrace	Odlučivost (%)	Průnik (%)	MPPS (μm)
H 13	99,95	0,05	0,20 (for Face velocity 4,5 cm/s)
H 14	99,995	0,005	0,14 (for Face velocity 1,7 cm/s)

Částice o velikosti **MPPS**, tj. částice nejvíce pronikající tj. s **nejmenší odlučivostí**, jsou pro uvedený materiál v oblasti **0,15 - 0,20 μm**.

Je však třeba uvést, že **pro** všechny **menší i větší částice** než je MPPS, **odlučivost** filtru významně **roste**. Pro menší částice je to dáno vlivem vzrůstající účinnosti **difuzního** a pro větší částice vlivem vzrůstu vlivu **intercepčního** principu **záchytu**. Zachycená částice zůstává na vlákně filtru trvale zachycena kohezními silami.

OCHRANNÉ MASKY S VÝMĚNNÝMI FILTRY

Ochranná maska je prostředek k osobní ochraně před nebezpečnými částicemi, plyny a parami pro vysoké a velmi vysoké nároky na ochranu zejména ve farmaceutickém a chemickém průmyslu. Pro vojenské účely se používá specifická konstrukce masky s vyšší ochranou, zajišťující přenos hlasu a případně příjem potravy bez sejmutí.

Průmyslová ochranná maska se používá ve formě **polomasky** chránící jen dýchací ústrojí, nebo celoobličejové **masky** chránící i oči. K nim se připojují samostatně výměnné filtrační vložky. Zatřídění masky **P1, P2, P3** podle normy ČSN EN 143 závisí na použitých výměnných částicových filtrech. Ochrana proti plynům a parám **A1, 2, 3** závisí na použité sorpční části.

Průnik filtrem pro jednotlivé třídy filtrů pro zkušební aerosol podle ČSN EN 143 (disperzita aerosolu viz výše)

P1 < 20 % (odlučivost > 80 %)

P2 < 6 %, (odlučivost > 94 %)

P3 < 0,05 %, (odlučivost > 99,95 % tj. jde o HEPA filtr)

Ochranný faktor pro filtry použité s maskou

P1 je ochranný faktor pro částice 4x NPK-P pro polomasku a 5x NPK-P pro masku.

P2 je ochranný faktor pro částice 10x NPK-P pro polomasku a 16x NPK-P pro masku.

P3 je ochranný faktor pro částice 50x NPK-P pro polomasku a 200x NPK-P pro masku.

A1 je ochranný faktor pro plyny 20x NPK-P pro polomasku a 200x NPK-P pro masku.

Filtry často obsahují i nebo pouze sorpční část určenou podle označení pro různé plyny a páry.

Proti respirátoru má ochranná maska podstatně lepší těsnost na obličej, ale **větší odpor** proti dýchání což znamená nižší komfort použití. **Chrání však nositele lépe** než respirátor zejména vzhledem k podstatně lepšímu utěsnění vůči obličej, ale vzhledem k výdechovému ventilku též **nechrání okolí**.



Ochranná polomaska

Vlastnosti: dva filtry po stranách, dobré přilnutí k obličejí a zorné pole, bajonetový úchytný systém filtrů



Ochranná maska

Vlastnosti: dva filtry po stranách, dobré přilnutí k obličejí, ochrana očí, menší zorné pole. Bajonetový úchytný systém filtrů



Pro částicové filtry masek pro průmysl platí stejné konstatování pro jejich celkovou odlučivost jako pro respirátory.

Nejdůležitější vliv na výslednou ochranu má těsnost výdechového ventilu a těsnost masky na obličejí.

Maska nebo polomaska s filtry třídy **P2** zajistí z hlediska hmotnosti zachytu celkovou odlučivost jak kapének tak i atmosférického prachu lepší než **99%**.

Maska nebo polomaska s filtry třídy **P3** pak zajistí zachyt kapének prakticky absolutní min o řád lepší než P2 tj. minimálně 99,9%. Filtr P3 je typu HEPA tj H13 nebo H14 stejně jako filtr vojenské ochranné masky.

Pro **vojenské masky** s ochranou proti částicím, parám a plynům se používají výměnné filtry tvořené složencem z vysokoúčinného filtračního papíru ze skleněných mikrovláken a sorpční sekci z aktivního uhlí. Obě části jsou vloženy ve válcovém pouzdře, které se k masce připojuje hrdlem se závitem (v 80-tých letech se používaly lícnicové filtry).



Vojenská maska AČR typ GUZU OM-90 s filtrem OF-90

Filtry vojenských masek zajišťují „absolutní“ ochranu dýchacího ústrojí a obličeje proti všem nebezpečným látkám zejména proti zbraním hromadného ničení tj. aerosolům bojových otravných látek (BOL), bojových biologických látek (BBL) nebo radioaktivnímu prachu. Filtr obsahuje mimo filtrační i sorpční část obsahující aktivní uhlí, chrání po určitou dobu absolutně proti plynům a parám BOL. Filtr proti částicím zajišťuje ochranu proti všem rozměrům částic s odlučivostí $\geq 99,97\%$.

Filtrační materiály a filtry pro tyto masky se označují jako "HEPA" (High Efficiency Particulate Air Filter), a pro ochranné masky se používají filtrační materiály odpovídající filtraci tříd **H 13 - H14**.

Zatřídění vysokoúčinných filtrů (HEPA a ULPA) je v současnosti založené na zjišťování **odlučivosti pro částice**, které filtračním materiálem nebo filtrem **nejvíce pronikají**, tzv. **MPPS** (Most Penetrating Particle Size). Filtrační materiál se zkouší při jmenovité filtrační rychlosti a stanoví se velikost částice MPPS. Stanovení MPPS se provádí měřením odlučivosti, resp. průniku pro několik velikostí částic čímž se určí průběh **funkce „frakční odlučivosti“** a její **minimum** tj. MPPS. Měření se provádí měřením koncentrace částic zkušebního polydispersního aerosolu před a za filtrem pro obvykle šest velikostních intervalů laserovým počítacem částic (LPC) podle harmonizovaných norem ČSN EN 1822-1 až 1822-5.

ZÁVĚRY PRO OCHRANU UŽIVATELE RESPIRÁTORŮ NEBO MASEK A JEJICH OKOLÍ.

1. **Respirátor třídy FFP2** chrání s vysokou účinností **přes 99%** uživatele proti inhalaci kapének produkovaných člověkem za předpokladu jeho správného (těsného) nasazení. Pozor na vousy, významně zhoršují ochranu.
2. **Respirátor třídy FFP3** chrání s vysokou účinností **přes 99%** uživatele proti inhalaci kapének produkovaných člověkem za předpokladu jeho správného (těsného) nasazení. Filtrační část proti předpokládaným kapénkám chrání významně lépe, ale vzhledem k neúplné těsnosti nasazení není možno očekávat významně lepší celkový výsledek než pro FFP2.
3. **Okolí chrání**, před kapénkami vydechovanými jejich uživatelem, jen **respirátory bez výdechového ventilku**. **Respirátory s ventilkem nechrání okolí.**
4. **Polomasky a masky** s částicovými filtry třídy **P2 nebo P3** chrání uživatele významně lépe než respirátory. Okolí též nechrání - mají vždy výdechový ventilek.
5. Dokonalou **absolutní ochranu** včetně agens BSL3 uživateli poskytují **vojenské ochranné masky**. Též, ale **nechrání okolí** před kapénkami vydechnutými uživatelem.
6. **Ochrana** poskytovaná filtrační polomaskou, nebo ochrannou maskou, závisí podstatně na jejich utěsnění vůči obličeji a druhu použitého filtru. Ani dokonalý filtr v netěsné masce nezajistí odpovídající ochranu.
7. **Improvizované prostředky** lze použít krátkodobě v nouzi, ale každý sériový výrobek typu polomasky nebo masky je třeba zodpovědně vyzkoušet na všechny testy požadované normou. Testy průniku předepsaným aerosolem lze, s dosti vysokou spolehlivostí, nahradit měřením frakčního průniku polydispersního kapalného aerosolu z Colisonova rozprašovače pomocí vhodného LPC (laser particle counter). Měření je ale třeba provést alespoň pro oblast částic 0,3 - 1,0 μm . Podle výsledku tohoto měření lze prostředek dočasně zatřídit.