



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

**ÚČINNOST FILTRACE ULTRAJEMNÝCH ČÁSTIC BĚŽNĚ
DOSTUPNÝCH MATERIÁLŮ**

ULTRAFINE PARTICLES FILTRATION EFFICIENCY OF COMMONLY AVAILABLE MATERIALS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martina Kudláčová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Tomáš Sitek

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Studentka: **Martina Kudláčová**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Tomáš Sitek**
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Účinnost filtrace ultrajemných částic běžně dostupných materiálů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V důsledku pandemie koronaviru vzrostla potřeba ochrany dýchacích cest proti ultrajemným částicím. Vzhledem k rychlému šíření viru se komerčně prodávané roušky staly brzy nedostatkovým zbožím a lidé si pružně začali roušky vyrábět z doma dostupných textilií. V praktické části bude zjištěna účinnost zachycení částic různých tkanin a jejich tlaková ztráta, která je důležitým faktorem určujícím pohodlné dýchání.

Cíle bakalářské práce:

- seznámit se s problematikou jemných částic v ovzduší a jejich filtrace,
- uvést seznam filtračních technologií ultrajemných částic,
- popsat měřicí aparaturu,
- vyhodnotit naměřená data.

Seznam doporučené literatury:

THOMAS, Dominique, Augustin CHARVET, Nathalie BARDIN-MONNIER a Jean-Christophe APPERT-COLLIN. Aerosol filtration. Kidlington, Oxford, UK: Elsevier, 2017. ISBN 978-1-78548-215-1.

SPARKS, Trevor. Filters and filtration handbook. Boston, MA: Elsevier, 2015. ISBN 978-0-08-099-96-6.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

V súvislosti s vypuknutím pandémie ochorenia COVID19 nastal globálny nedostatok osobných ochranných prostriedkov dýchacích ciest proti ultrajemným časticiam. Široká verejnosť bola nútená siahnuť po alternatíve a na osobnú ochranu používať látkové rúška. Účinnosť ochrany, ktorú poskytuje látkové rúško súvisí s výberom vhodného materiálu na jeho výrobu.

Táto práca obsahuje základné poznatky z oblastí teórie aerosólu, prenosu vírusu SARS-CoV-2, ktorý spôsobuje ochorenie COVID19 a filtrácie aerosólových častíc obsahujúcich vírus. Na základe teoretických poznatkov z rešeršnej časti je v praktickej časti realizované experimentálne meranie účinnosti filtrácie a tlakovej straty vybraných bežne dostupných materiálov. Z porovnania výsledkov sú následne vybrané najvhodnejšie materiály pre výrobu látkových rúšok.

Kľúčové slová

Aerosól, účinnosť filtrácie, rúško, respirátor, filter

ABSTRACT

In connection with the outbreak of the COVID19 pandemic, there has been a global shortage of personal respiratory protective equipment against ultrafine particles. The citizens were forced to reach for the alternatives and use homemade cloth masks for personal protection. The efficiency of the protection provided by a cloth mask is related to the selection of a suitable material for its production.

This thesis contains basic knowledge in the field of aerosol theory, transmission of the SARS-CoV-2 virus, which causes the COVID19 disease and filtration of aerosol particles containing the virus. Based on the theoretical knowledge from the first part, an experimental measurement is performed determining the efficiency of filtration and pressure loss of selected commonly available materials. Based on the results comparison, the most suitable materials for the homemade masks production are selected.

Key words

Aerosol, filtration efficiency, mask, respirator, filter

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

KUDLÁČOVÁ, Martina. *Účinnost filtrace ultrajemných částic běžně dostupných materiálů*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132248>. Bakalárska práca. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedúci práce Tomáš Sitek.

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som *bakalársku* prácu na tému *Účinnost filtrace ultrajemných částic běžně dostupných materiálů* vypracovala samostatne s použitím odbornej literatúry a prameňov, uvedených v zozname, ktorý tvorí prílohu tejto práce.

Dátum

Meno a priezvisko

POĎAKOVANIE

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce Ing. Tomášovi Sitekovi za odborné vedenie, trpezlivosť pri konzultáciách a cenné rady pri spracovaní bakalárskej práce.

OBSAH

ÚVOD	10
1 Aerosól	11
1.1 Aerosólové častice	11
1.1.1 Veľkosť aerosólových častíc	11
1.1.2 Transport aerosólových častíc	13
1.2 Bioaerosol	13
2 Koronavírus SARS-CoV-2	14
2.1 Prenosu vírusu SARS-CoV-2	14
2.1.1 Kontaktný prenos vírusu	14
2.1.2 Bezkontaktný prenos vírusu	14
3 Filtrácia atmosférického vzduchu	17
3.1 Depozičné mechanizmy	17
3.2 Filtre atmosférického vzduchu	18
3.2.1 Filtre pre bežné vetranie [20]	18
3.2.2 Vysokoúčinné filtre [21]	18
3.3 Filtračné technológie využívané pri obmedzení šetrenia vírusu SARS-CoV-2.	19
3.3.1 Čističky vzduchu	19
3.3.2 Ventilačné systémy	20
4 Ochranné prostriedky dýchacích ciest	21
4.1 Látkové tvárové masky (tvárové rúška pre verejnosť)	21
4.1.1 Materiál a výroba	22
4.1.2 Technická normalizačná informácia CWA 17553:2020 [25]	22
4.2 Chirurgické masky	23
4.2.1 Materiál a výroba	23
4.2.2 Norma EN 14683:2019+AC [33]	24
4.3 Respirátor	25
4.3.1 Materiál a výroba	25
4.3.2 Norma EN149:2001+A1:2009 [31]	25
4.3.3 Prehľad zahraničných noriem	26
5 Experimentálne meranie	28
5.1 Typy textilných materiálov	28
5.2 Meranie účinnosti filtrácie materiálu	30
5.2.1 Meracia aparatura	30
5.2.2 Postup merania	33
5.2.3 Výsledky merania	34
5.3 Tlaková strata materiálu	38
5.3.1 Popis meracieho reťazca a postup merania	38

5.3.2	Výsledky merania tlakovej straty	39
5.4	Diskusia	41
6	Záver	43
ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV		44
ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK		47
ZOZNAM OBRÁZKOV		48
ZOZNAM TABULIEK		49

ÚVOD

V decembri roku 2019 bol v Čínskom meste Wu-chan zaznamenaný prvý prípad ochorenia COVID19, ktoré spôsobil novoobjavený vírus SARS-CoV-2 [1]. Vírus sa v priebehu nasledujúcich 4 mesiacov postupne rozšíril z Číny do všetkých častí sveta a vyvolal celosvetovú pandémiu. Reakciou krajín Európy vrátane Českej a Slovenskej republiky na šíriacu sa pandémiu bolo uzavretie hraníc a vydanie preventívnych opatrení obmedzujúcich šírenie vírusu. Jedným zo základných preventívnych opatrení bolo zavedenie povinného zakrývania dýchacích ciest na verejnosti. Náhle vypuknutie pandémie a rýchle vydávanie preventívnych opatrení pristihlo krajiny a ich obyvateľov nepripravených. Dôsledkom vzniknutej situácie sa osobné ochranné prostriedky (chirurgické rúška a respirátory) stali nedostatkovým tovarom a široká verejnosť bola nútená hľadať alternatívne spôsoby ochrany dýchacích ciest. Ľudia začali vyrábať látkové rúška z bežne dostupných textílií, ktoré našli v domácnosti.

Prvá časť tejto bakalárskej práce sa zaoberá teoretickým popisom problematiky aerosólu a aerosólových častíc. Postupne budú vysvetlené základné pojmy súvisiace s veľkosťou, transportom a delením aerosólových častíc. V kapitole o víruse SARS-CoV-2 budú zhrnuté aktuálne poznatky o prenose vírusu primárne vzdušnou cestou. Následne bude popísaný princíp filtrácie aerosólových častíc zo vzduchu a dostupné filtračné technológie aerosólových častíc za účelom ochrany zdravia.

Praktická časť bakalárskej práce bude zameraná na experimentálne meranie účinnosti filtrácie a tlakovej straty bežne dostupných materiálov. Cieľom merania bude zistiť do akej miery a či vôbec, sú bežne dostupné materiály účinné pri ochrane pred aerosólovými časticami veľkosti vírusov. Postupne bude popísaná meracia aparátúra, postup merania tlakovej straty a účinnosti filtrácie testovaných materiálov. Skúmaných bude dvanásť typov rôznych materiálov s cieľom zistiť, ktorý bežne dostupný materiál je vhodný na výrobu látkových rúšok v prípade nedostatku osobných ochranných prostriedkov dýchacích ciest.

1 Aerosól

Aerosól je umelé slovo vytvorené zložením starogréckeho slova $\alpha\epsilon\rho$ (aēr) znamenajúceho „vzduch“ a latinského slova solutio znamenajúceho „roztok“ [2]. Z fyzikálneho hľadiska je aerosól definovaný ako suspenzia kvapalných a pevných častíc v plyne. Jedná sa tak o dvojfázový systém častice – plyn [3]. Najčastejším plynným prostredím aerosólu je vzduch. Častice suspendované v plynnej zložke aerosólu môžu byť pevné látky (sadze, minerálny prach, biologické častice atď.) alebo kvapalné látky [3].

Niektoré druhy aerosólu [3,5]:

- Bioaerosóly – vyskytujú sa ako vzdušné častice biologického pôvodu s veľkosťou 0,02–100 μm . Obsahujú vírusy, baktérie, spory húb, pele atď [4].
- Mrak, oblak – aerosól ktorého hustota je vplyvom koncentrácie aerosólových častíc väčšia ako 1% hustoty vzduchu. Má presne definované hranice a jeho objemové vlastnosti sa výrazne líšia od hustotne redších aerosólov.
- Hmla – kvapalný aerosól vznikajúci kondenzáciou presýtených pár.
- Dym – aerosól obsahujúci pevné a kvapalné častice, menšie ako 0,5 μm . Vzniká nedokonalým spaľovaním.
- Prach – aerosól s pevnými časticami väčšími ako 0,6 μm , vzniká mechanickým rozpadom pevného materiálu.
- Sprej - aerosól vznikajúci mechanickým alebo elektrostatickým rozpadom kvapaliny.
- Smog – všeobecný termín označujúci viditeľné znečistenie atmosféry. Aerosol je tvorený ako kvapalnými tak aj pevnými časticami. Vzniká dôsledkom fotochemických reakcií UV žiarenia s uhlíkovodíkmi a oxidmi dusíku. Má významne negatívny dopad na ľudské zdravie.

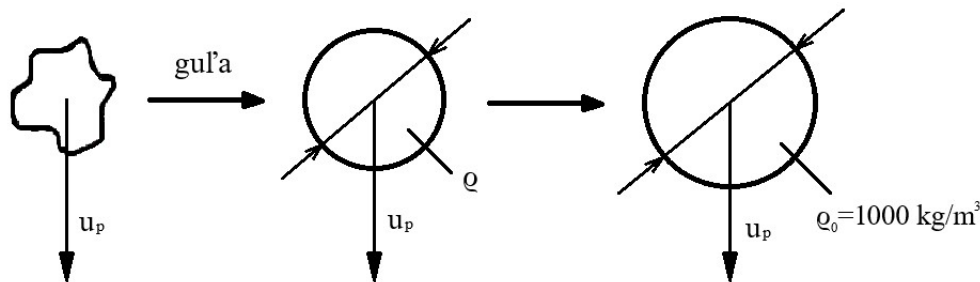
1.1 Aerosólové častice

Aerosól sa delí podľa spôsobu generovania častíc, zloženia a fyzikálnych vlastností ako sú veľkosť, tvar a hustota častíc. Podľa zloženia je aerosól rozdelený na homogénny, ktorý sa skladá iba z jedného druhu častíc a heterogénny, ktorý je zložený z častíc rôzneho druhu [3]. Podľa spôsobu generovania častíc sa aerosól delí na primárny a sekundárny. Častice primárneho aerosólu vznikajú v zdroji a zo zdroja sa šíria do vzduchu. Aerosól, ktorého častice vznikajú chemickou reakciou vo vzduchu je nazvaný sekundárny aerosól [3].

1.1.1 Veľkosť aerosólových častíc

Suspendované častice v aerosóle obvykle nemajú jasne definovaný geometrický tvar. Aby bolo možné jednotne určiť veľkosť častíc, zavádza sa pojem ekvivalentný priemer guľovej častice [3,6]. Ekvivalentný priemer guľovej častice umožňuje určiť veľkosť častíc na základe fyzikálnej vlastnosti, ktorú má guľa s ekvivalentným priemerom rovnakú, ako posudzovaná neguľová častica. Na základe vlastnosti ku ktorej je ekvivalentný priemer vzťahovaný rozlišujeme: hmotnostný ekvivalentný priemer, objemový ekvivalentný priemer, Stokesonov ekvivalentný priemer, aerodynamický ekvivalentný priemer atď [6].

Z hľadiska pohybu a filtrácie častíc aerosólu v atmosfére je významná pádová rýchlosť resp. rýchlosť usadzovania u_p . Ekvivalentný priemer, ktorý posudzuje veľkosť častice na základe rýchlosti usadzovania je aerodynamický ekvivalentný priemer. Aerodynamický ekvivalentný priemer d_{ae} , je definovaný ako priemer guľovej častice s hustotou $\rho_0 = 1000 \text{ kgm}^{-3}$ a rovnakou rýchlosťou usadzovania ako má neguľová posudzovaná častica [6]. Definícia aerodynamického priemeru je názorne zobrazená na obrázku 1.

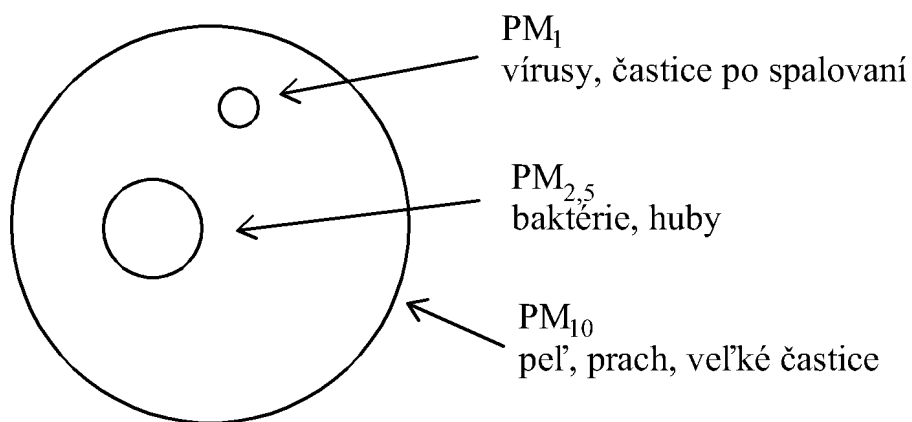


Obrázok 1 Definícia aerodynamického priemeru [7].

Na základe aerodynamického priemeru sú pevné častice suspendované vo vzduchu rozdelené do rôznych tried (frakcií) PM_x (PM – particular matter „častica prachu“) [6]:

- PM_{10} – častice s aerodynamickým priemerom menším než $10\ \mu m$,
- $PM_{2,5}$ – častice s aerodynamickým priemerom menším než $2,5\ \mu m$, nazývané tiež „jemné častice“,
- PM_1 – častice s aerodynamickým priemerom menším než $1\ \mu m$ zvané „veľmi jemné častice“,
- $PM_{0,1}$ – častice s aerodynamickým priemerom menším než $0,1\ \mu m$, nazývané tiež „ultrajemné častice“ alebo „nanočastice“.

Klasifikácia častíc do kategórií PM_{10} , $PM_{2,5}$ a PM_1 je založená na pevných časticách suspendovaných v ovzduší a používa sa pri určovaní kvality ovzdušia a dopadu na ľudské zdravie [8]. Veľkosť častíc je dôležitý parameter ovplyvňujúci mechanickú filtráciu a zohráva obzvlášť dôležitú úlohu pri filtrácii vzduchu. Nebezpečné častice rôznych veľkostí sa dostávajú z ovzdušia do ľudského organizmu vdýchnutím a následne môžu spôsobiť množstvo zdravotných problémov [7]. Obrázok 2 názorne ukazuje veľkosť jednotlivých tried PM_x s príkladmi častíc patriacich do týchto tried. Veľkosť častíc udáva ako hlboko do organizmu sú častice schopné preniknúť. Najväčšie častice PM_{10} sú zachytené v horných dýchacích cestách, stredne veľké častice $PM_{2,5}$ sa zachytávajú v dolných dýchacích cestách a najmenšie častice triedy PM_1 prenikajú až do krvného obehu.



Obrázok 2 Rozdelenie častíc podľa veľkosti.

1.1.2 Transport aerosólových částic

Transport aerosólových částic vo vzduchu je primárne závislý od veľkosti částic, ich vzájomnej interakcii, prúdenia plynu, v ktorom sú častice suspendované a atmosférických vplyvov [4].

V makroskopickom merítku ovplyvňuje transport aerosólových částic najmä mechanika prúdenia plynu, ktorá rozhoduje o tom, ako a kam bude častica transportovaná, alebo či sa usadí. Častice v atmosfére podliehajú predovšetkým turbulentnému prúdeniu. Pri posudzovaní, či sa častica usadí, alebo pretrvá vo vzduchu vplyvom prúdenia, je podstatné zobrať do úvahy veľkosť častice. Usadzovanie částic (sedimentácia) je spôsobené najmä účinkom gravitačných síl a je významné najmä pre väčšie častice [4].

V mikroskopickom merítku musíme vnímať každú časticu samostatne s jej fyzikálnymi vlastnosťami. Tak ako plynné médium ovplyvňuje častice, tak aj jednotlivé častice pôsobia svojimi fyzikálnymi vlastnosťami na plynné médium. Častice sa s molekulami plynu navzájom ovplyvňujú odporovou silou, dôsledkom čoho prichádza k zmenám rýchlostí a smeru pochybu částic. Tento jav sa nazýva Brownov pohyb. Následkom Brownovho pohybu nastáva prenos částic difúziou. Difúzia je z hľadiska pohybu částic tým podstatnejšia čím má častica menší priemer [4].

1.2 Bioaerosol

Bioaerosól je definovaný ako aerosól biologického pôvodu. Podľa pôvodu suspendovaných částic sa bioaerosóly delia na dve skupiny:

- životaschopné – viry, baktérie,
- mŕtve – pele, roztoče, huby atď.

Veľkosť bioaerosólov sa pohybuje od 0,02 do 100 μm [3]. Podľa veľkosti sa bioaerosólové častice delia do PM_x tried, ako bolo uvedené v kapitole 1.1.1. Medzi najmenšie častice bioaerosólov patria vírusy, ktoré sa často nevyskytujú samostatne, ale tvoria zhluky. Medzi najväčšie častice suspendované v bioaerosóloch patria pele. Veľkosť vírusov, baktérií a peľu názorne ukazuje obrázok 2.

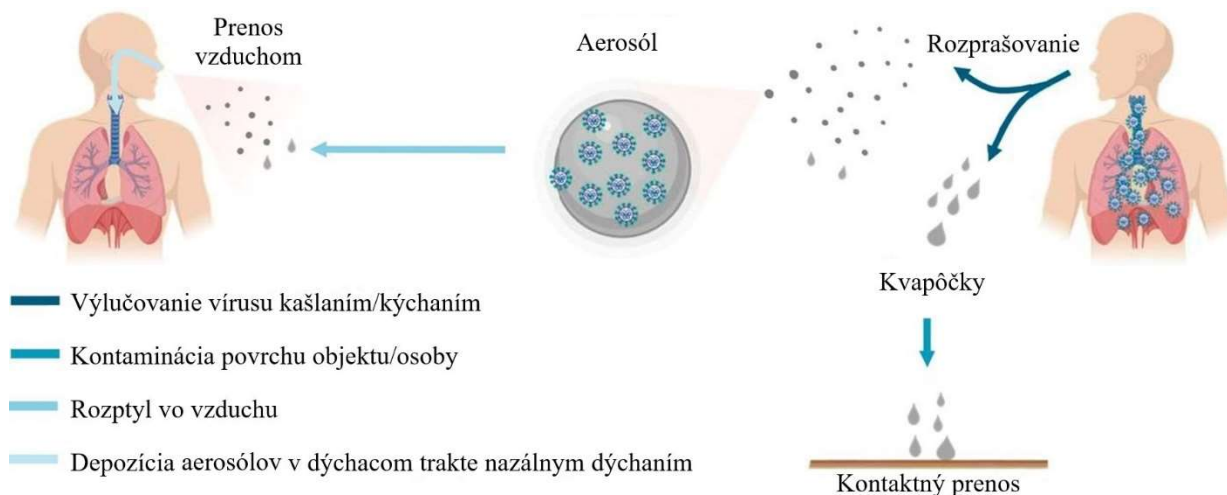
Primárnymi zdrojmi bioaerosólov sú ľudia, zvieratá, rastliny, pôda a voda. Sekundárne zdroje sú ľudské činnosti, ktoré výrazne ovplyvňujú množstvo aerosólov v atmosfére. Bioaerosóly majú významne negatívny dopad na ľudské zdravie. Považujú sa za pôvodcov ochorení dýchacieho traktu ako astma, alveolitída, pľúcny edém, chronická obštrukčná pľúcna choroba, bronchitída, infekčných ochorení spôsobených rôznymi vírusmi ako tuberkulóza, MERS, SARS a ochorení spôsobených dôsledkom alergickej reakcie na pele, spóry plesní a roztoče [4].

2 Koronavírus SARS-CoV-2

Koronavírus SARS-CoV-2 (závažný akútny respiračný koronavirový syndróm) je RNA koronavírus zo skupiny betakoronavírusov s veľkosťou od 0,06 do 0,14 mikrometrov [1,9]. Prvýkrát bol identifikovaný u pacientov v decembri 2019 v čínskom meste Wu-chan [1]. Spôsobuje ochorenie nazvané COVID 19, ktoré postihuje najmä dýchací systém a zapríčiňuje primárne respiračné ťažkosti. Známe sú aj príznaky ako strata čuchu, chuti, bolesť kĺbov, svalov a vysoká teplota. Menej časté sú u infikovaných bolesti hlavy a nevoľnosť. U väčšiny infikovaných jedincov sú príznaky mierne, ale u niektorých môže mať ochorenie závažný priebeh a vyústiť do pneumónie alebo syndrómu akútnej respiračnej tiesne (ARDS) [9]. Vírus sa prenáša najmä interpersonálne, teda z osoby na osobu prostredníctvom dotyku alebo vzduchom.

2.1 Prenosu vírusu SARS-CoV-2

Ako už bolo spomenuté, prenos vírusu SARS-CoV-2 sa uskutočňuje predovšetkým z človeka na človeka. Za prenosové cesty vírusu SARS-CoV-2 medzi ľuďmi sa považujú kontaktný prenos a bezkontaktný prenos vzduchom zobrazené na obrázku 3 [10].



Obrázok 3 Prenosové cesty vírusu SARS-CoV-2 [11].

2.1.1 Kontaktný prenos vírusu

Kontaktný prenos vírusu medzi infikovaným a zdravým jedincom môže nastať priamym alebo nepriamym spôsobom. Prenos priamym spôsobom nastáva, pri priamom dotyku s infikovanou osobou, napríklad pri podaní rúk. Nepriamy spôsob kontaktného prenosu prebieha prostredníctvom „formitu“, čo je predmet, na ktorom sa nachádzajú bunky kontaminované vírusom, pochádzajúce od infekčného jedinca [10]. Experimentálna štúdia N. van Dolemana a spol. [12] skúmala čas, ktorý dokáže byť vírus životaschopný na povrchoch z rôznych materiálov. Zistili, že na plastových povrchoch dokáže SARS-CoV-2 vydržať životaschopný viac ako 72 hodín, na povrchoch z nerezovej oceli 48 hodín, na kartóne približne 24 hodín a na medených povrchoch 4 hodiny. Počas tejto doby môže prísť k prenosu vírusu z povrchu predmetu na sliznicu zdravej osoby a tým k infekcií.

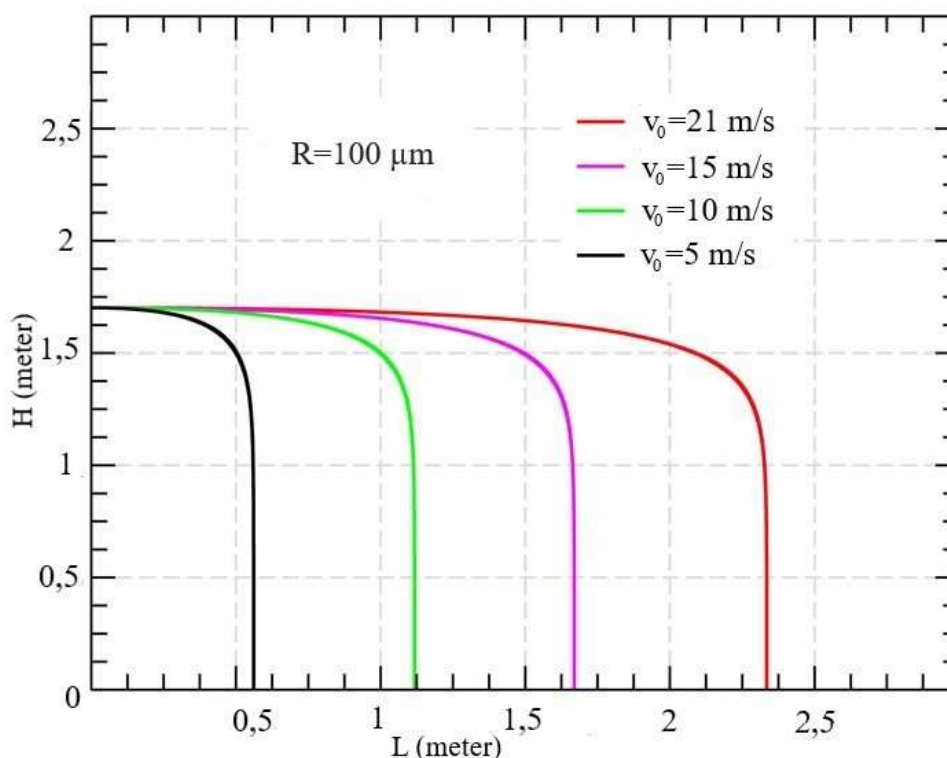
2.1.2 Bezkontaktný prenos vírusu

Vírusy obvykle neexistujú ako samostatné častice vo vzduchu, ale sú prichytené a prenášané na väčších pevných alebo kvapalných časticiach [10]. Pri kašľaní, kýchaní, rozprávaní a dýchaní sú z ústnej a nosovej dutiny infikovaného jedinca emitované kvapôčky hlienu potiahnuté vírusom do okolitého prostredia. Produkované kvapôčky majú rôznu veľkosť,

čo výrazne ovplyvňuje ich správanie v ovzduší a tým schopnosť prenosu vírusu ako je znázornené na *obrázku 3* [11]. K bezkontaktnému prenosu vírusu vzduchom prichádza dvoma rôznymi spôsobmi a to prostredníctvom kvapôčkovej infekcie alebo vdýchnutím aerosólových častíc obsahujúcich vírus [11].

Prenos kvapôčkovou infekciou nastáva prostredníctvom kvapôčok s priemerom väčším ako 100 μm . Takéto kvapôčky sú pomerne veľké a výrazne ovplyvnené gravitačnou silou následkom čoho rýchlo klesajú na zem a môžu infikovať povrchy na ktorých sa usadia [10]. V štúdií G. Aermout Somsen a spol. [13] zistili, že kvapôčka o veľkosti 500 μm , ktorá sa pohybovala rýchlosťou 2 – 7 m/s dopadne vplyvom gravitačných síl z výšky 1,6 m na povrch do 1 sekundy.

K produkcii kvapôčok väčších ako 100 μm , prichádza najmä počas kašľania a kýchania, kedy sú sekréty horných a dolných dýchacích ciest vylučované vo väčšom množstve a rýchlosti ako pri bežnom rozprávaní [13]. *Obrázok 4* zobrazuje výsledky štúdie Santosh K. Das a spol. [14], ktorá skúmala do akej vzdialenosti sú kvapôčky o priemere 200 μm schopné doletieť, ak boli vypustené z úst vo výške 1,70 m. Počiatočné rýchlosti pri ktorých boli častice emitované odpovedajú kašľaniu. Z *obrázku 4* vyplýva, že produkované častice pri priemernej rýchlosti kašľania 10 m/s dopadnú do vzdialenosti 1,77 m. Pri najvyššej možnej hodnote počiatočnej rýchlosti kašľa dopadnú častice až do vzdialenosti 2,35 m. Pri kýchaní sú počiatočné rýchlosti vypustených častíc spravidla ešte vyššie ako pri kašľaní a tým aj dolet kvapôčok väčší. Na základe štúdie je možné zhodnotiť, že dopad častíc pri priemerných rýchlostiach kašľa je do vzdialenosti 2 m.



Obrázok 4 Trajektória a vzdialenosť dopadu častíc o priemere 200 μm uvoľnených kašľaním z ústnej dutiny vo výške 1,7 m [14].

Výsledky štúdie Santosh K. Das a spol. [14] tiež ukázali, že kvapôčky o polomeroch väčších ako 100 μm sú minimálne ovplyvnené prúdením vzduchu a gravitačná sila prevažuje nad difúznou. Dôsledkom toho kašľajúci infikovaný jedinec môže nakadiť osoby nachádzajúce sa vo vzdialenosti dopadu častíc ako v interiéri, tak aj v exteriéri. Prevencia pri šírení vírusu

prostřednictvím kvapôčkovej infekcie zahŕňa dodržiavanie dvojmetrových rozstupov a nosenie osobných ochranných prostriedkov.

V prvom štvrtroku 2020 sa zdôrazňoval prenos SARS-CoV-2 kvapôčkovou infekciou a priamym alebo nepriamym kontaktom. Až v apríli 2020 sa začala komplexnejšie riešiť otázka prenosu vírusu SARS-CoV-2 vzdušnou cestou prostredníctvom bioaerosolov [15]. Táto otázka vznikla najmä z dôvodu, že veľký počet šíriteľov, infikovaných jedincov, bol asymptomatický, teda nevykazoval žiadne symptómy (kašeľ, kýchanie alebo zvýšenú sekréciu horných dýchacích ciest), ktoré sú predpokladom pre šírenie kvapôčkovej infekcie. Zároveň sa ako prevencia pred šírením vírusu uviedli do praxe nemedikamentálne opatrenia dodržiavania dvojmetrových rozstupov, častého umývania rúk a sebaizolácie. Tieto opatrenia maximálne obmedzili kontaktný prenos, avšak nezaznamenal sa výrazne klesajúci počet nakazených [16].

To, že pri kašľaní a kýchaní produkuje každý jedinec do svojho okolia kvapôčky už bolo spomenuté. Avšak je nevyhnutné si uvedomiť, že k produkcii kvapôčok do okolitého prostredia prichádza aj počas rozprávania, spievania a dýchania, iba sú z pravidla menších rozmerov ($<100\text{ }\mu\text{m}$) [13,16]. Pokiaľ je jedinec infikovaný, je pravdepodobné, že vylučované kvapôčky budú obsahovať vírus.

Z kvapôčky, na ktorej je naviazaný vírus po vylúčení do okolitého prostredia príde k odpareniu kvapalnej časti takzvaným usušením častice [16]. Zvyšok, ktorý zostane po vysušení kvapalnej časti častice sa nazýva jadro častice, ktoré nesie infekčný vírus [16]. Väčšina štúdií uvádza veľkosť aerosólových častíc po sušení $\leq 5\text{ }\mu\text{m}$ [10,11,17]. Rýchlosť sušenia kvapalnej časti závisí primárne od relatívnej vlhkosti vzduchu, priemeru pôvodnej kvapky a teplotnom rozdieli medzi povrchom častice a okolitým prostredím [16]. Spravidla, čím je vyprodukovaná kvapôčka menšia, tým je väčšia pravdepodobnosť, že zostane vo vzduchu dostatočne dlho, aby prišlo k odpareniu kvapalnej časti a neklesne na zem vplyvom gravitácie.

Aerosólové častice (vysušené jadrá kvapôčok) vytvárajú okolo infekčného jedinca aerosólový „oblak“. S. Asadi a spol. [17] skúmali, aké množstvo aerosólových častíc produkujú rôzni dobrovoľníci počas dýchania a reči. Zistili, že výsledky sú individuálne pre každú osobu. Napríklad desaťminútový rozhovor s infikovaným asymptomatickým jedincom, ktorý hovorí v normálnom objeme vydychovaného vzduchu, priniesol neviditeľný „oblak“ o počte približne 6 000 aerosólových častíc. Časť aerosólového oblaku môže inhalovať potenciálny konverzačný partner, alebo iný jedinec v blízkosti [17]. Aerosólový oblak výrazne ovplyvňuje okolitá atmosféra, meteorologické javy ako prúdenie vzduchu, teplota, vlhkosť, ale aj difúzia a interakcie častíc.

K prenosu priamym/nepriamym kontaktom a kvapôčkovou infekciou prichádza v krátkom dosahu, prenos vzduchom prostredníctvom aerosólov sa môže vyskytnúť na väčšiu vzdialenosť a čas. Experimentálna štúdia N. van Dolemana a spol. [12] zistila, že vírus SARS-CoV-2 zostal životaschopný a infekčný vo vzdušných aerosóloch po dobu troch hodín trvania testov.

Malé aerosolové častice sú potenciálne infekčnejšie ako väčšie kvapôčky produkované kýchaním a kašľom z niekoľkých dôvodov. Pretrvávajú vo vzduchu dlhšie, čím sa zvyšuje pravdepodobnosť vdýchnutia. Menšie častice majú väčšiu pravdepodobnosť prenikania hlbšie do dýchacích ciest. Pri rozprávaní sa môže uvoľniť výrazne väčší počet malých častíc v porovnaní s kašľom [17].

3 Filtrácia atmosférického vzduchu

Filtráciu je možné definovať ako proces, pri ktorom sa pomocou filtra oddeľuje spojitá fáza (plynná) a v nej suspendovaná (kvapalná alebo pevná) fáza, pričom pôvodne boli tieto fázy zmiešané [6]. Je najjednoduchšou, všestrannou a ekonomicky výhodnou metódou záchytu aerosólových a prachových častíc. Aerosólová filtrácia je používaná v rôznych aplikáciách ako ochrana dýchacích ciest, čistenie odpadových vôd, spracovanie jadrových a nebezpečných materiálov alebo pri čistení vzduchu v obytných priestoroch [3].

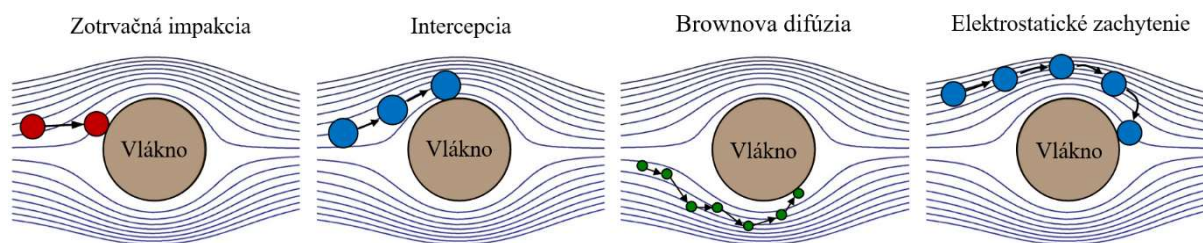
Táto bakalárska práca sa zameriava na oblasť filtrácie atmosférického vzduchu prostredníctvom vlákňitých filtrov. To umožňuje definovať filtráciu ako proces pri ktorom prichádza k záchytu častíc na vláknach filtračného materiálu alebo na už zachytených časticiach [7]. Pomocou filtrácie atmosférického vzduchu je možné efektívne odstraňovať nebezpečné častice, ktoré majú významne negatívny vplyv na ľudské zdravie a spôsobujú množstvo zdravotných problémov.

3.1 Depozičné mechanizmy

Základom filtrácie častíc atmosférického vzduchu je odlučovanie častíc vo vlákňitej vrstve filtra zloženej z filtračných vlákien. Všeobecne podliehajú častice piatim depozičným mechanizmom:

- zotrvačnej impakcii (záchytu),
- gravitačnej sedimentácii,
- Brownej difúzii,
- intercepcii (zakliesneniu),
- elektrostatickej depozičii.

Na filtrácii častíc vo vlákňitej vrstve filtra sa podieľajú štyri z týchto princípov zobrazené na obrázku 5.



Obrázok 5 Depozičné mechanizmy [18].

Zotrvačná impakcia sa stáva dôležitým depozičným mechanizmom pre veľké častice ($0,4 - 1 \mu\text{m}$) pri vysokých a stredných rýchlostiach. Veľké častice nie sú schopné vplyvom svojej hybnosti pri prúdení vzduchu cez filter kopírovať smer prúdu vzduchu. Dôsledkom čoho je vysoká pravdepodobnosť nárazu s vláknom filtra [18].

Veľmi malé častice (menšie ako $0,1 \mu\text{m}$) majú vysokú pravdepodobnosť nárazu na vlákno filtra v dôsledku Brownovho pohybu. Brownov pohyb nastáva, keď sa častice zrazia s molekulami plynu (vzduchu). Dôsledkom je neusporiadaný a prudký chaotický pohyb, ktorý vedie k difúzii [18].

Častice veľkosti $0,1 \mu\text{m}$ až $0,4 \mu\text{m}$ zvyčajne kopírujú prúdenie vzduchu. To spôsobuje, že sú najťažšie zachytiteľné. K ich zachyteniu prichádza zakliesnení (intercepciou) vo vlákne filtra [18].

Pri elektrostatickom záchyte častíc sú nabité častice priťahované k opačne nabitému vláknu filtra. Tento mechanizmus záchytu častíc neuprednostňuje určitú veľkosť častíc,

ale má obzvlášť velký význam pre najťažšie zachytiteľné častice v rozmedzí veľkosti 0,1 μm až 0,4 μm [18].

3.2 Filtre atmosférického vzduchu

Filtre atmosférického vzduchu sa delia do dvoch skupín: filtre pre bežné vetranie a vysoko účinné filtre. Tieto skupiny filtrov podliehajú príslušným normám EN ISO 16890-1 a EN 1822, podľa ktorých sa na základe účinnosti filtrácie delia do jednotlivých tried [19].

3.2.1 Filtre pre bežné vetranie [20]

Filtre pre bežné vetranie (prachové filtre) podliehajú norme EN ISO 16890-1 z roku 2016. Delia sa do jednotlivých tried zobrazených v *tabuľke 1* podľa schopnosti filtrovať rôzne veľkosti častíc [20]. Pre testovanie účinnosti filtrácie berie norma do úvahy veľkosti častíc v rozmedzí 0,3 – 10 μm . Predpokladom zaradenia filtra do skupiny je, že zachytí aspoň 50 % častíc danej triedy. Napríklad ak filter zachytí aspoň 50 % častíc o veľkosti PM_{10} bude klasifikovaný ako ISO ePM1 filter (písmeno „e“ na začiatku znamená „efficiency“ – účinnosť). Filter ktorý odlúči menej, ako 50 % PM_{10} častíc, bude hodnotený ako filter pre hrubé nečistoty – ISO hrubý.

Tabuľka 1 Rozdelenie filtrov pre bežné vetranie podľa EN ISO 16890-1 [20].

Trieda filtru	Požadovaná minimálna účinnosť filtru			Uvedená hodnota u triedy
	ePM _{1,min}	ePM _{2,5,min}	ePM ₁₀	
ISO hrubý	–	–	< 50 %	Počiatočná gravimetrická odlúčivosť
ISO ePM10	–	–	≥ 50 %	ePM ₁₀
ISO ePM2,5	–	≥ 50 %	–	ePM _{2,5}
ISO ePM1	≥ 50 %	–	–	ePM ₁

3.2.2 Vysokoúčinné filtre [21]

Filtre používané pre záchyt aerosólových častíc sa nazývajú vysokoúčinné filtre a podliehajú norme EN 1822 z roku 2019.

V rámci normy EN 1822 sú filtre rozdelené do troch skupín [21]:

- EPA: efektívny vzduchový filter pevných častíc
- HEPA: vysokoúčinný vzduchový filter pevných častíc
- ULPA: vzduchový filter s veľmi nízkou penetráciou

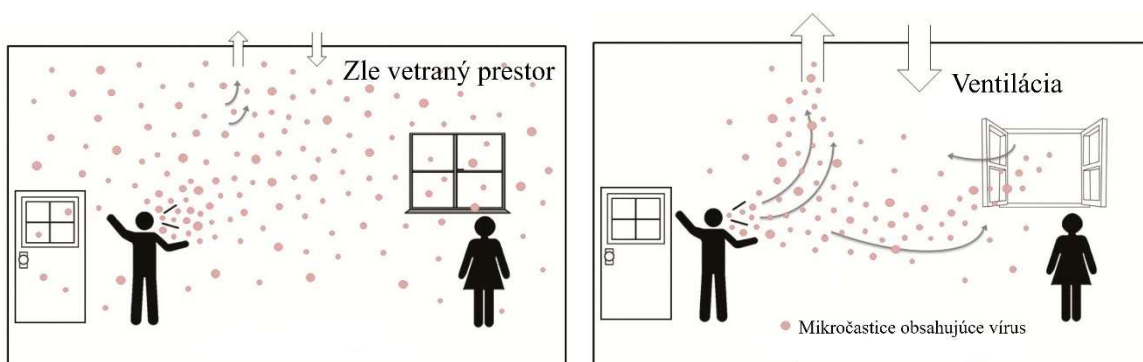
Skupiny EPA, HEPA a ULPA sa následne delia do jednotlivých tried zobrazených v *tabuľke 2*.

Tabuľka 2 Rozdelenie vysokoúčinných filtrov podľa EN 1822 [21].

Trieda filtru	Celková hodnota		Lokálna hodnota	
	Účinnosť (%)	Prienik (%)	Účinnosť (%)	Prienik (%)
E10	≥ 85	≤ 15	-	-
E11	≥ 95	≤ 5	-	-
E12	≥ 99,5	≤ 0,5	-	-
H13	≥ 99,95	≤ 0,05	≥ 99,75	≤ 0,25
H14	≥ 99,995	≤ 0,005	≥ 99,975	≤ 0,025
U15	≥ 99,9995	≤ 0,0005	≥ 99,9975	≤ 0,0025
U16	≥ 99,99995	≤ 0,00005	≥ 99,99975	≤ 0,00025
U17	≥ 99,999995	≤ 0,000005	≥ 99,9999	≤ 0,0001

3.3 Filtračné technológie využívané pri obmedzení šetrenia vírusu SARS-CoV-2

S nástupom pandémie spôsobenej vírusom SARS-CoV-2 sa takmer okamžite objavila otázka, ako sa efektívne chrániť pred vírusom a tým obmedziť jeho šírenie medzi ľuďmi. Ľudia začali na pokyn hygienikov a vládnych predstaviteľov nosiť osobné ochranné prostriedky dýchacích ciest [22]. Vo vnútorných priestoroch kontaminovaných infekčnými aerosolmi bolo na zníženie koncentrácií patogénov vo vzduchu odporúčané častejšie vetranie. V priestoroch bez okien, alebo v zle vetraných priestoroch, sa na zníženie kontaminácie odporúčali použiť čističky vzduchu alebo ventilačné systémy [23]. Obrázok 6 zobrazuje vplyv ventilácie na zníženie koncentrácie aerosolových častíc vo vnútornom priestore. Štúdia G. Aermout Somsen a spol. [13] skúmala vplyv vetrania v miestnosti na koncentráciu aerosolu o priemernej veľkosti 5 μm . Zistili, že v najlepšie vetranej miestnosti sa po 30 sekundách počet kvapôčok znížil na polovicu, zatiaľ čo v miestnosti bez vetrania trvalo približne 5 minút, kým sa počet kvapôčok znížil na polovicu.



Obrázok 6 Koncentrácia mikročastíc obsahujúcich vírus v dobre a zle vetranom priestore [24].

Zoznam filtračných technológií:

- čističky vzduchu,
- ventilačné systémy,
- osobné ochranné prostriedky dýchacích ciest:
 - filtračné polomasky (respirátory),
 - zdravotnícke tvárové masky (chirurgické rúška),
 - *pokrývky nosa a úst (látkové tvárové masky, šatky, bandany).

*Na základe technickej normalizačnej informácie CWA 17553:2020 pokrývka nosa a úst (látková tvárová rúška pre verejnosť) nie je zdravotníckym prostriedkom v zmysle smernice 93/42/EHS alebo nariadenia EU/2017/745 ani osobným ochranným prostriedkom v zmysle nariadenia EU/2016/425 [25].

3.3.1 Čističky vzduchu

Čistička vzduchu je elektrický prenosný prístroj, ktorý zo vzduchu odstraňuje rôzne druhy nečistôt, ako alergény, prach, dym, jedovaté chemické látky, alebo nákazlivé mikroorganizmy. Je vybavená ventilátorom, ktorý nasáva vzduch v miestnosti. Nasávaný vzduch sa následne prefiltruje cez filter a vracia sa vyčistený späť do miestnosti.

V prípade kontaminovaného prostredia v miestnosti, čističky vzduchu nie sú schopné odfiltrovať všetky infekčné aerosólové častice vo vzduchu. Slúžia len na zníženie koncentrácie infekčných častíc v miestnosti a tým znižujú pravdepodobnosť nákazy [2]. Aby bola čistička vzduchu účinná, musí byť schopná odfiltrovať zo vzduchu malé aerosólové častice. Takéto častice z ovzdušia odstraňujú vysokoúčinné filtre triedy HEPA [21].

Čističky vzduchu môžu byť obzvlášť užitočné, ak dodatočné vetranie vonkajším vzduchom nie je možné bez zníženia vnútorného pohodlia (teplota, vlhkosť), alebo keď je znečistenie vonkajšieho ovzdušia vysoké [26].

3.3.2 Ventilačné systémy

Ventilačné systémy sú na rozdiel od mobilných čističiek vzduchu pevne inštalované v budovách. Často sú súčasťou systémov kúrenia, vetrania a klimatizácie HVAC (heating, ventilation, air-conditioning). Funkciou systémov HVAC z hľadiska ventilácie je výmena vzduchu v miestnosti za čerstvý vzduch z vonkajšieho prostredia, recirkulácia vzduchu v budove, alebo kombinácia oboch funkcií.

V prípade, že HVAC slúži na prívod čerstvého vzduchu, prichádza k filtrácii vzduchu prúdiaceho z vonkajšieho prostredia. Do ventilačných systémov budov sú inštalované vzduchové filtre odpovedajúce norme EN ISO 16890-1 z roku 2017. V súvislosti s pandémiou koronavírusu je odporúčané používať HVAC s prívodom čerstvého vzduchu [23]. Výmenou vzduchu prichádza k znižovaniu koncentrácií patogénov prenášaných vo vnútornom priestore, čím sa znižuje riziko infekcie vdýchnutím vírusov a choroboplodných zárodkov.

HVAC systém s recirkuláciou vzduchu môže byť inštalovaný pre celú budovu, alebo iba pre jednu miestnosť. V prípade takéhoto spôsobu ventilácie je nutné, aby vzduch prechádzal cez filter pri prechode medzi jednotlivými miestnosťami. Takýto spôsob ventilácie sa v súvislosti s pandémiou neodporúča, pretože predstavuje potenciálnu hrozbu prenosu infekčných aerosólov v rámci budovy [2].

V prípade, že sa jedná o recirkulačný ventilačný systém, pre účinnú filtráciu aerosolových častíc je potrebné použiť vysokoúčinné filtre HEPA, podobne ako v čističkách vzduchu. Používať HEPA filtre do HVAC systémov je ekonomicky nevýhodné. Preto sa používajú iba do ventilácií pre čisté priestory vo farmaceutickom priemysle, potravinárskom priemysle alebo v nemocničných operačných sálach.

4 Ochranné prostředky dýchacích cest

Osobné ochranné prostředky dýchacích cest slouží primárně na osobní ochranu před škodlivými částicemi v ovzduší. Zarádujeme sem zdravotnické tvárové masky (chirurgické rúška) a filtračné polomasky (respirátory). V súvislosti s pandemiou koronavírusu sa medzi zdravotnické tvárové masky a filtračné polomasky zvyknú zaraďovať aj pokrývky nosa a úst (látkové tvárové masky, šatky, bandany). Pokrývky nosa a úst podľa technickej normalizačnej informácie CWA 17553:2020 nie sú osobným ochranným prostriedkom, ale sú používané na ochranu dýchacích ciest [25].

Pre osobné ochranné prostriedky sú významné nasledovné vlastnosti:

- vysoká filtračná účinnosť materiálu,
- nízka tlaková strata pri dýchaní,
- dostatočné tesnenie v oblasti tváre (fit faktor).

Osobné ochranné prostriedky sú používané vo viacerých priemyselných odvetviach a zdravotníctve. Zakrytie úst a nosa filtračným materiálom má dva významy. Slúži na osobnú ochranu pred vdychovaním škodlivých patogénov a častíc z ovzdušia. Zároveň zabraňuje rozširovaniu infekčných častíc, ktoré produkuje infikovaná osoba do svojho okolia [27].

4.1 Látkové tvárové masky (tvárové rúška pre verejnosť)

Látkové tvárové masky alebo látkové rúška sú najjednoduchšou formou ochrany dýchacích ciest. Neodporúčajú sa na používanie zdravotníkmi, ale ako ochrana širokej verejnosti sú veľmi obľúbené vďaka svojej dostupnosti, jednoduchosti, pohodlnému noseniu, možnosti výroby v rôznych dizajnoch a opätovnému použitiu po opraní [27].



Obrázok 7 Látková tvárová maska pre verejnosť [28].

V ideálnom prípade by látkové rúško malo mať nasledujúce vlastnosti [29]:

- dobrú filtráciu mikroorganizmov pre vdychovaný aj vydychovaný vzduch,
- malý tlakový odpor materiálu,
- hypoalergénitu,
- pohodlnosť pri nosení,
- znovu použiteľnosť (pranie, dezinfikovanie),
- cenovú dostupnosť.

Účinnosť filtrácie látkového rúška je vo všeobecnosti nižšia ako účinnosť chirurgických rúšok a respirátorov. Látkové rúška však môžu poskytovať určitú ochranu, ak sú správne navrhnuté a používané v menej rizikovitom prostredí [27].

4.1.1 Materiál a výroba

Na rozdiel od respirátorov a chirurgických rúšok, ktoré sú vyrábané z netkaných textílií sa látkové rúška vyrábajú z tkaných textílií. Výrobné techniky tkaných a netkaných textílií sú rozdielne, čo má vplyv na účinnosť filtrácie materiálu. Netkané textílie majú obvykle viac pórov na jednotku plochy. Čím má textília viac pórov, tým je vyššia pravdepodobnosť zachytu častíc a filtračná schopnosť materiálu lepšia. Najčastejšími syntetickými alebo prírodnými tkanými textíliami používanými na výrobu látkových rúšok sú bavlnené plátno/úplet, prírodný hodváb, flanel (hybrid bavlny a polyesteru), syntetický hodváb (100% polyester), šifón (hybrid z polyesteru a elastanu) a polyesterové či bavlnené zmesi [30].

Účinnosť filtrácie látkovej masky na tvár sa líši druhu tkanej textílie, počtu vrstiev látky, ktoré sa použijú na jej ušitie, stupňa vlhkosti v maske ale aj od dostatočnej priliehavosti k tvári [29, 30]. Látkové masky obyčajne nie sú šité s kovovým plieškom okolo nosu alebo iným mechanizmom zlepšujúcim tesnenie na tvári. Následkom toho sú výrazné netesnosti v oblasti nosa, brady a líc. Vydychovaný vzduch sa dôsledkom netesností nefiltruje cez tkaninu, ale uniká v oblastiach netesností, čo znižuje účinnosť látkového rúška. Podľa Chughtai, Abrar A. [27] viacvrstvové látkové masky navrhnuté tak, aby priliehali okolo tváre, vyrobené z vodotesnej a jemnejšej tkaniny s vysokým počtom nití, môžu poskytnúť primeranú ochranu aj pred aerosólovými časticami.

4.1.2 Technická normalizačná informácia CWA 17553:2020 [25]

V súčasnosti neexistuje žiadna norma špecifikujúca požiadavky pre výrobu látkových rúšok. Bola vydaná iba technická normalizačná informácia CWA 17553: *Tvárové masky pre verejnosť – Minimálne požiadavky, skúšobné metódy a používanie*, ktorá špecifikuje základné parametre, ktoré by mali spĺňať tvárové masky určené pre verejnosť. Jedná sa iba o usmernenie informatívneho charakteru. Na dodržanie požiadaviek podľa CWA 17553:2020 dbá sám výrobca, prípadne môže požiadať externe laboratórium o uskutočnenie skúšok.

V normalizačnej informácii sú definované požiadavky na veľkosť rúšok pre dospelých a deti, balenie, materiál, údržbu, filtračnú účinnosť materiálu, pásky na upnutie okolo tváre, dýchací odpor, priepustnosť vzduchu a značenie. Tvárové rúšky sú podľa CWA 17553:2020 k opakovanému použitiu a musia odolať najmenej 5 cyklov údržby pri minimálnej teplote prania 60 °C.

Účinnosť filtrácie materiálu sa posudzuje podľa už dostupných noriem. Normalizačná informácia CWA 17553:2020 odporúča testovať filtračnú účinnosť materiálu podľa európskych noriem EN 13274-7, EN 14683:2019+AC:2019, EN ISO 16890-2 alebo EN ISO 21083- :2018. Gaef (Spoločnosť pre výskum aerosólov) [1] odporúča testovať rúška pre verejnosť podľa európskej normy pre respirátory EN149:2001+A1:2009.

Na základe filtračnej účinnosti častíc o veľkosti 3 ($\pm 0,5$) μm sa rúška podľa CWA 17553:2020 delia do dvoch kategórií:

- úroveň 90 %: väčšia alebo rovnajúca sa 90 %,
- úroveň 70 %: väčšia alebo rovnajúca sa 70 %.

Pre stanovenie dýchacieho odporu sa používa skúška podľa noriem EN 13274-3 alebo EN 14683:2019+AC:2019. Na stanovenie priepustnosti vzduchu sa používa skúška materiálu uvedená v EN ISO 9237.

Tvárové rúško na základe CWA 17553:2020 nie je zdravotníckym prostriedkom v zmysle smernice 93/42/EHS alebo nariadenia EU/2017/745, ani osobným ochranným prostriedkom v zmysle nariadenia EU/2016/425. Preto k tvárovej maske pre verejnosť výrobca nesmie pripojiť označenie CE. Látkové rúška sa rovnako nemôžu označovať FFP2 ani FFP3. Takéto delenie a hodnotenie je vyhradené iba pre respirátory certifikované podľa normy EN 14683:2019+AC:2019. Toto nesprávne značenie rúška vychádza z častej predstavy,

že pre porovnanie rúška a respirátoru stačí odmerať filtračnú účinnosť materiálu. V skutočnosti sa u respirátorov testujú ďalšie parametre, napríklad: dýchací odpor, horľavosť, koncentrácia CO₂ vdychovaného vzduchu [31].

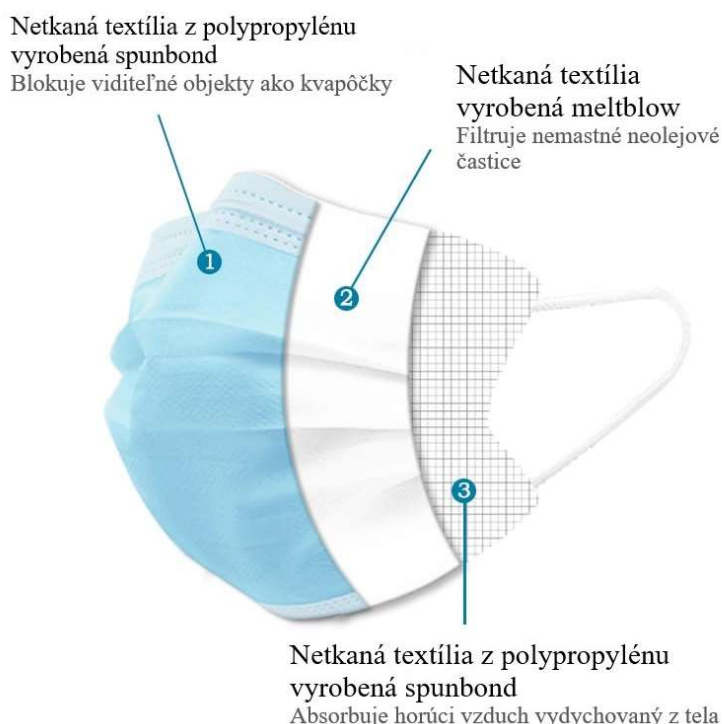
4.2 Chirurgické masky

Chirurgické masky (chirurgické rúška) sa používajú v zdravotníckom aj komunitnom prostredí na ochranu pred kvapôčkovou infekciou, postrekom krvi a telesných tekutín. Sú primárne určené na ochranu zdravotných pracovníkov. Používajú sa na prevenciu šírenia infekcie od chorých alebo asymptomatických osôb (označovaných aj ako kontrola zdroja) [27]. Vo svete sa vyrábajú rôzne druhy chirurgických masiek. Líšia sa zložením, počtom vrstiev a dizajnom upínania na tvár.

4.2.1 Materiál a výroba

Chirurgické masky sa skladajú z troch až štyroch rôznych vrstiev materiálu, obvyčajne netkaných textílií. Netkaná textília je najčastejšie vyrábaná z polypropylénu, ale môže byť aj z polystyrénu, polykarbonátu alebo polyesteru. Polypropylén je najčastejšie používaný vlákňitý materiál na výrobu netkaných textílií do rúšok najmä vďaka svojej nízkej cene, vynikajúcemu antimikrobiálnemu správaniu, mechanickej pevnosti a chemickej odolnosti [30].

Tradičné 3-vrstvové chirurgické masky na tvár pozostávajú z dvoch vrstiev pórovitých netkaných textílií a netkaného filtračného média z polymérovej taveniny medzi nimi. Jednotlivé vrstvy sú vyrobené procesmi: spunbond a melt-blown zobrazené na *obrázku 8*.



Obrázok 8 Jednotlivé vrstvy chirurgickej masky [32].

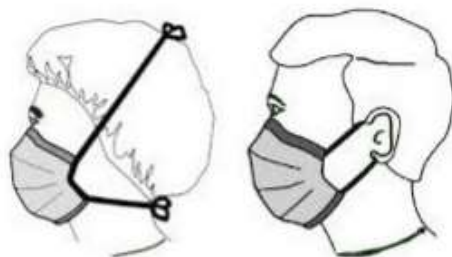
Vonkajšia nepriepustná vrstva a vnútorná vrstva rúška, ktorá prichádza do kontaktu s pokožkou je netkaná textília s priermi vláken ~20 µm vyrobená technológiou spunbond. Počas výroby netkanej textílie technológiou spunbond sú polyméry roztavené a priamo spriadané do vlákien cez malé hubice dýz a následne sú vlákna rozťahnuté na priemer 10 – 30 µm [30]. Vonkajšia vrstva rúška blokuje kvapôčky a veľké častice vďaka vodotesnej vlastnosti a efektu zotrvačnej impakcie, zatiaľ čo vnútorná vrstva poskytuje absorpciu vlhkosti

z dýchania. V niektorých chirurgických maskách sú vo vnútornej vrstve pridané vlákna bavlny pre príjemný pocit na tvári a pohodlné nosenie.

Strednú vrstvu rúška najčastejšie tvorí netkaná textília s priemerom vlákien 2 μm vyrobená fúkaním z taveniny, teda technológiou melt-blow [30]. Pri tejto technológií prichádza k taveniu a extrudovaniu granulovaného termoplastického propylénu do formy a následnému zoslabeniu vlákien vo vysokoteplotných a vysokorýchlostných prúdoch vzduchu. Takto vyrobené vlákna netkanej textílie majú väčšinou priemer 2 – 7 μm [30].

V poslednom období sa široko zavádzajú funkčné dokončovacie technológie na zvýšenie účinnosti chirurgických rúšok. Cieľom je zvýšiť antibakteriálne, superhydrofóbne, antistatické a nábojové vlastnosti chirurgických rúšok prostredníctvom chemických povlakov, nanášania a pôsobenia infračerveného žiarenia, elektród alebo plazmy [30]. Veľmi častá je elektrostatická úprava strednej vrstvy. V porovnaní s fyzickou bariérou, ktorá umožňuje difúziu depozíciu alebo intercepciu, by elektrostatická príťažlivosť strednej vrstvy mohla výrazne zvýšiť zachytávanie aerosólov alebo častíc vo vzduchu [18,30]. Bežným nedostatkom chirurgických masiek je rýchla strata statických nábojov počas nosenia ovplyvnená teplotou a vlhkosťou prostredia.

Väčšina chirurgických rúšok je nariasená alebo má záhyby. Obvykle sa používajú tri záhyby, ktoré sú navrhnuté tak, aby umožnili nositeľom rozšíriť masku na tvári od nosa po bradu. Nariasenie a záhyby chirurgického rúška zároveň umožňujú voľný pohyb dolnej čeľusti pri rozprávaní bez výraznej straty tesnosti. Na zaistenie masky na tvári sa používajú dva spôsoby: elastické oká, ktorými sa pripevní rúško za ušami alebo šnúrky pomocou ktorých sa zaviaže maska okolo hlavy, ktoré sú zobrazené na *obrázku 9*.



Obrázok 9 Možnosti upínania chirurgických rúšok [25].

4.2.2 Norma EN 14683:2019+AC [33]

Lekárske tvárové masky podliehajú európskej norme EN 14683:2019+AC. Podľa normy sa delia na dva typy (typ I a typ II) v závislosti na účinnosti bakteriálnej filtrácie, pričom typ II sa ďalej delí podľa toho, či je alebo nie je odolný proti striekajúcej vode. Písmeno „R“ označuje odolnosť proti striekajúcej vode. Požiadavky na lekárske masky podľa normy EN 14683:2019+AC sú zhrnuté v *tabuľke 3*.

Tabuľka 3 Výkonnostné požiadavky pre lekárske masky [33].

Test	Typ I	Typ II	Typ IIR
Účinnosť filtrácie baktérií (BFE) (%)	≥ 95	≥ 98	≥ 98
Tlaková strata (Pa/cm^2)	< 40	< 40	< 60
Tlak striekania (kPa)	-	-	≤ 16
Mikrobiálna čistota (cfu/g)	≤ 30	≤ 30	≤ 30

Lekárske tvárové masky typu I by sa mali používať iba u pacientov a iných osôb, aby sa znížilo riziko šírenia infekcií, najmä v epidemických alebo pandemických situáciách. Masky typu I nie sú určené na použitie zdravotníkmi na operačných sálach alebo v iných lekárskech zariadeniach s podobnými požiadavkami [33].

Značenie lekárskej tvárovej masky musí obsahovať číslo normy.

4.3 Respirátor

Respirátor alebo filtračná polomaska je určený k ochrane nositeľa pred nebezpečnými časticami v ovzduší. Respirátory podliehajú po celom svete rôznym regulačným normám. Jednotlivé normy špecifikujú požadované fyzikálne vlastnosti a výkonové charakteristiky, ktoré musia respirátory spĺňať. Respirátor testovaný v Európe musí spĺňať náležitosti normy EN149:2001 a dodatku A1:2009, ktorý k nej bol vydaný.

4.3.1 Materiál a výroba

Rovnako ako v prípade niektorých chirurgických masiek, sa respirátor skladá zo štyroch vrstiev netkanej textílie, ale je štruktúrovaný komplexnejším spôsobom. Vonkajšia vrstva je hydrofóbny polypropylénový povrch vyrobený technológiou spunbond. Druhá vrstva sa skladá z celulózy a polyesteru, ktoré môžu byť modifikované kladne nabitými iónmi medi a zinku, aby prilákali baktérie a vírusy elektrostatickou interakciou. Treťou vrstvou je roztavený polymér meltblow a štvrtá vrstva (vnútorná vrstva) je vyrobená z polypropylénu technológiou spunbond [30].

Respirátory sú vyrábané vo verziách s výdychovým/vdychovým ventilom, ktorý slúži na odvod vydychovaného/prívod vdychovaného vzduchu alebo bez neho ako na *obrázku 10*.



Obrázok 10 Respirátor s výdychovým/vdychovým ventilom a bez ventilu [34,35].

Výdychový ventil respirátoru neobsahuje filter preto je respirátor s výdychovým ventilom určený iba k ochrane nositeľa pred škodlivinami v ovzduší [36]. Ak je nositeľ takéhoto respirátora infekčný, stáva sa zdrojom aerosolových častíc a jeho okolie je nechránené. Častice, ktoré pri výdychu jedinec produkuje, sa voľne dostávajú do prostredia cez dýchací ventil respirátora a môžu nakaziť okolie. Pokiaľ je respirátor vyrobený bez ventilu, filtruje nielen vdychovaný vzduch ale aj vydychovaný. Osoba ktorá má na sebe nasadený respirátor bez výdychového ventilu plne chráni okolie pred časticami, ktoré dýchaním produkuje. To efektívne zamedzuje prenosu infekcií vzdušnou cestou z infikovanej osoby na okolie [36].

4.3.2 Norma EN149:2001+A1:2009 [31]

Norma EN149:2001+A1:2009 určuje minimálne požiadavky pre filtračné polomasky ako ochranné prostriedky dýchacích orgánov proti časticiam ako kvapalným, tak aj tuhým.

Samotná norma je rozdelená do desiatich kapitol.

Prvá až štvrtá kapitola sú úvod, predmet normy, termíny, definície, a popis. Piata kapitola, rozdelenie, delí filtračné masky do tried FFP1, FFP2, FFP3 na jednorazové použitie označenie

NR/N a na opakované použití označení R. Podľa normy EN149:2001+A1:2009 sú respirátory hľadiska celkovej účinnosti rozdelené do troch tried ochrany [31]:

- FFP 1 – celková účinnosť ochrany > 78 % ,
- FFP 2 – celková účinnosť ochrany > 92 % ,
- FFP 3 – celková účinnosť ochrany > 98 %.

Spôsob označenia respirátora odpovedajúci norme je definovaný v šiestej kapitole ako: Filtračná maska proti časticiam EN 149, rok vydania, voliteľná vlastnosť.

Siedma kapitola normy EN 149:2001+A1:2009 sa zaoberá požiadavkami, na balenie, materiál, čistenie a dezinfekciu, praktické skúšky, konečnú úpravu, prienik maskou, znášateľnosť masky s pokožkou, horľavosť, koncentráciu oxidu uhličitého v maske, upínací systém, dýchací odpor a zanášanie. V prípade, že je maska vyrobená s ventilom musí spĺňať aj požiadavky súvisiace s ventilom.

Celkový prienik filtračnej polomasky sa skladá z 3 častí: tesniacej línie lícnicovou časťou, prieniku vydechovacím ventilom (ak ho maska obsahuje) a prieniku filtrom. Prienik filtračným materiálom musí odpovedať požiadavkám v *tabuľke 4*

Tabuľka 4 Prienik filtračným materiálom [31].

Trieda	Maximálny prienik skúšobného aerosolu	
	Skúška chloridom sodným 95 l/min %	Skúška parafinovým olejom 95 l/min %
FFP 1	20	20
FFP 2	6	6
FFP 3	1	1

Skúšanie sa uskutočňuje na 3 vzorkách pre jednorazové použitie a 3 vzorkách na opakované použitie.

Dýchací odpor pre filtračné polomasky proti časticiam bez ventilu musí spĺňať požiadavky uvedené v *tabuľke 5*.

Tabuľka 5 Dýchací odpor [31].

Trieda	Maximálny prípustný odpor (mbar)		
	vdychovaní pri		vydechovaní pri
	30 l/min	95 l/min	160 l/min
FFP 1	0,6	2,1	3,0
FFP 2	0,7	2,4	3,0
FFP 3	1,0	3,0	3,0

Všetky náležitosti praktických skúšok respirátorov sú popísané v kapitole osem normy EN149:2001+A1:2009. Nachádzajú sa v nej presné požiadavky na skúšky vrátane požiadavku na skúšobné prístroje.

Pred uvedením na trh musí byť respirátor certifikovaný v skúšobnom laboratóriu, podľa požiadaviek v kapitole osem. Výrobca následne musí respirátor označiť číslom normy, tj. EN 149+A1, triedou ochrany a umiestniť na výrobok označenie CE spoločne s číslom oznámeného subjektu, ktorý daný výrobok pravidelne kontroluje.

4.3.3 Prehľad zahraničných noriem

V súvislosti s pandemiou koronavírusu je odporúčané používať ako účinnú ochranu pred infekčnými aerosolmi nachádzajúcimi sa vo vzduchu respirátor triedy FFP2 podľa

EN149:2001+A1:2009. Európska norma vymedzuje minimálne požiadavky, ktoré musí respirátor certifikovaný v Európe spĺňať. V prípade, že je respirátor testovaný v iných častiach sveta, musí spĺňať požiadavky normy používanej v danej krajine. V tabuľke 6 sa nachádza prehľad noriem používaných v krajinách mimo Európy.

Tabuľka 6 Prehľad noriem používaných v niektorých krajinách [37].

Krajina	Norma	Účinný respirátor na záchyt aerosólov
USA	NIOSH-42CFR84	N95
Čína	GB2626-2006)	KN95
Austrália / Nový Zéland	AS / NZA 1716: 2012	P2
Kórea	KMOEL - 2017-64	Korea 1.trieda
Japonsko	JMHLW-Notification 214, 2018	DS

5 Experimentálne meranie

Pre určenie vhodnosti použitia materiálu na výrobu textilného rúška je nevyhnutné zohľadniť viacero faktorov: účinnosť filtrácie materiálu, jeho tlakovú stratu, zdravotnú nezávadnosť, horľavosť materiálu a možnosť opätovného použitia. V rámci experimentálneho merania sa vyhodnocovala filtračná účinnosť a tlaková strata jednotlivých vzoriek materiálov.

Ako bolo spomenuté v kapitole 4.1.2, v súčasnosti neexistuje žiadna norma, ktorá by definovala požiadavky na testovanie účinnosti filtrácie textilných rúšok a materiálov, z ktorých sú vyrábané. Účinnosť filtrácie sa podľa GAeF [2] a normalizačnej informácie CWA 17553:2020 [25] odporúča skúšať už dostupnými európskymi normami na určenie účinnosti filtrácie, ktoré boli bližšie popísané v kapitole 4.1.2.

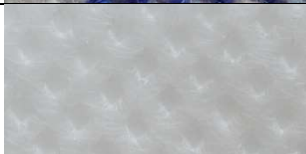
Uskutočnené meranie v tejto bakalárskej práci sa prevedením, použitou testovacou látkou a veľkostným rozmedzím testovaných častíc najviac približuje normám: EN 149:2001 +A1:2009 „Ochranné prostriedky dýchacích orgánov – filtračné polomasky k ochrane proti časticiam – požiadavky na skúšanie a značenie“ (kapitola 4.3.2) a EN 13274-7 „Ochranné prostriedky dýchacích orgánov – Metódy skúšania – Časť 7: Stanovenie preniku aerosólu filtrom proti časticiam“. Samotné meranie nie je vyhotovené v certifikovanom laboratóriu ako požadujú uvedené normy, preto bolo obmedzené možnosťami dostupných prístrojov.

5.1 Typy textilných materiálov

Pre experimentálne meranie účinnosti filtrácie a tlakovej straty materiálu bolo zvolených dvanásť typov bežne dostupných materiálov zapísaných v tabuľke 7. Pri výbere materiálov bola zohľadnená ich dostupnosť v domácnosti, nízka cena a možnosť použitia na ušitie látkového rúška. Samotné meranie sa neobmedzilo iba na meranie účinnosti tkanín (vzorky A1-A6), ako bolo cieľom zadania, ale bolo rozšírené aj o bežne dostupné netkané textílie (A10-A12). Pre porovnanie účinnosti filtrácie boli medzi vzorky zaradené aj respirátor triedy FFP 2 (A7) a chirurgické rúško typu I (A8), ktoré sú odporúčané na použitie ako ochranný prostriedok pred šírením infekcií.

Tabuľka 7 Typy materiálov.

Označenie	Popis	Obrázok	Zloženie	Gramáž [g/m ²]
A1	Viskózová zmes (tkaná textília)		78% viskóza 18% polyester 4% elastan	209
A2	Bavlnený satén (tkaná textília)		100% bavlna	121
A3	Rongo (tkaná textília)		100% polyester	156
A4	Rifľovina (tkaná textília)		100% bavlna	304

A5	Umelý hodváb (tkaná textília)		95% PES 5% elastan	95
A6	Ľan (tkaná textília)		100% ľan	127
A7	Respirátor FFP 2 (netkaná textília)		100% polypropylén	144
A8	Chirurgické rúško Typ I (netkaná textília)		100% polypropylén	68
A9	Kávový filter V60		100% celulóza	46
A10*	Záhradná textília (netkaná textília)		100% polyester	42
A11*	Vysávačové vrečko (netkaná textília)		Výrobca neudáva typ materiálu	105
A12*	Vysávačový filter (netkaná textília)		Výrobca neudáva typ materiálu	139

*Vzorky neboli výrobcom testované na zdravotnú neškodnosť.

Z jednotlivých materiálov boli pred meraním vystrihnuté kruhové vzorky o priemere 40 mm, ktoré boli následne zvažené. Na základe veľkosti (plochy) a zistenej váhy vzoriek, bola vypočítaná gramáž, ktorá je zapísaná v *tabuľke 7*. Na *obrázku 11* sa nachádzajú pripravené vzorky pred meraním.



Obrázok 11 Vzorky testovaných materiálov.

5.2 Meranie účinnosti filtrácie materiálu

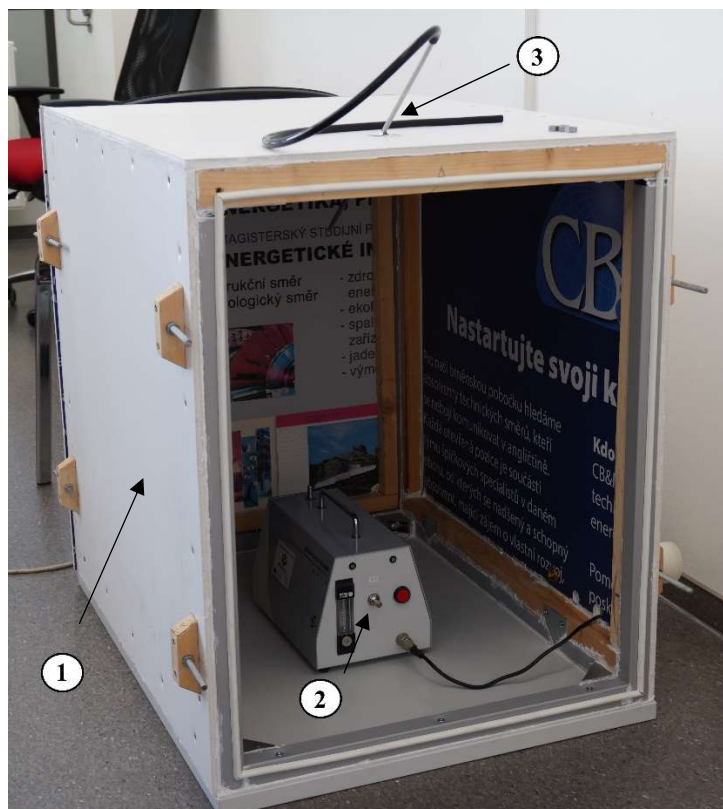
Cieľom merania filtračnej účinnosti materiálu je zistiť odlúčivosť aerosólových častíc materiálom. Podľa zistenej účinnosti sa posudzuje, či je materiál vhodné použiť na ušitie látkového rúška, alebo nie. Účelom látkového rúška je ochrániť nositeľa v čo najvyššej miere proti infekčným časticiam v ovzduší.

5.2.1 Meracia aparatura

Meracia aparatura je zložená z:

- krabice,
- generátora častíc,
- kazety do ktorej sa vkladajú vzorky,
- súboru vzoriek rôznych textílií,
- elektrostatického klasifikátora model 3080,
- kondenzačného počítacza častíc model 3775,
- počítacza.

Na obrázku 12 sa nachádza začiatok meracieho reťazca: krabica (bod 1) a generátor polydisperzného aerosólu (bod 2). Krabica je vyrobená z dreveného rámu a plastových výplní. V oblasti otvoru pre kábel, slúžiaceho na prívod elektrickej energie do generátora je z vonkajšej strany krabice namontovaný HEPA filter. Z krabice vedie odberová trubica obrázok 12 (bod 3), ktorá je vodivá, aby nedochádzalo k elektrostatickej depozícii častíc v trubici.



Obrázok 12 Začiatok meracej trate: krabica (1), generátor (2), odberová trubka (3).

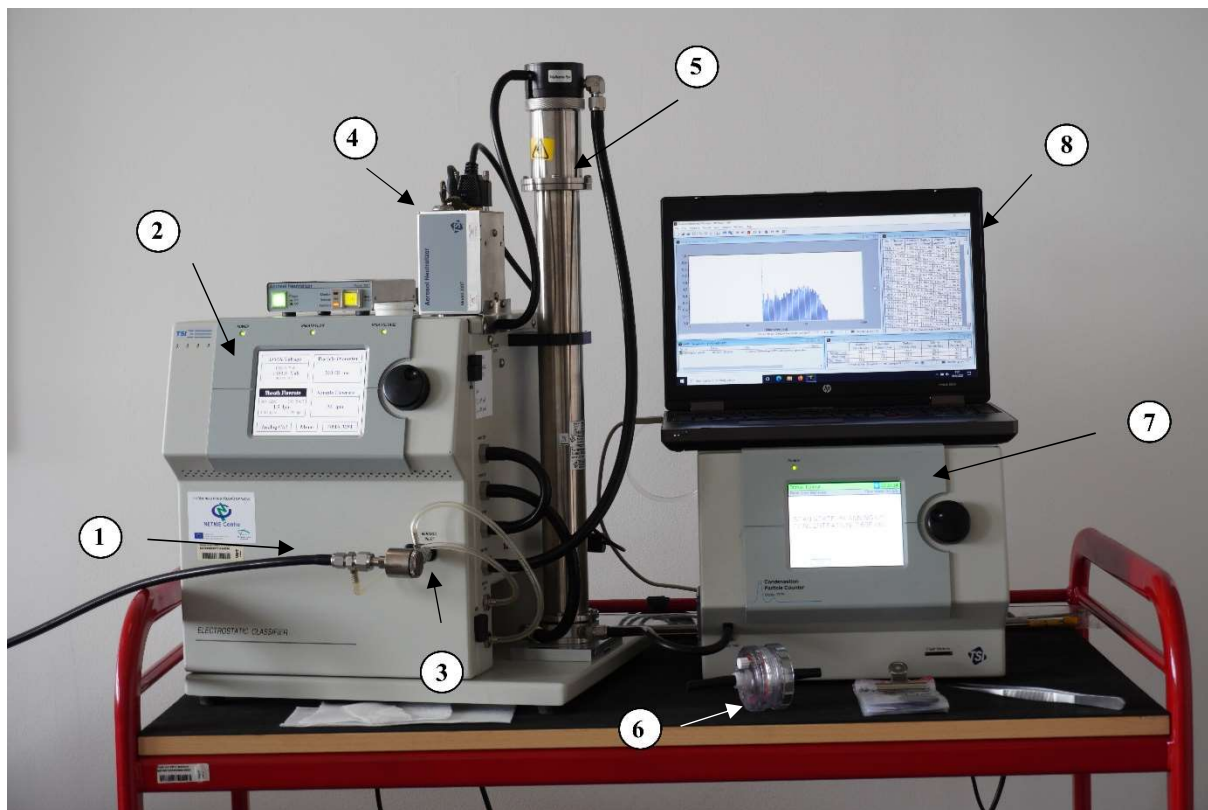
Na koniec odberovej trubice je pripevnená kazeta. Kazeta zobrazená na obrázku 13 je plastová súčiastka, ktorá má kruhový prierez S_{40} o priemere 40 mm, ktorým prúdi vzduch. Do kazety sa počas merania vkladajú jednotlivé vzorky materiálu, ktoré sú popísané v kapitole 5.1.



Obrázok 13 Meracia kazeta na upevnenie vzorky.

Druhý koniec kazety je pripojený k elektrostatickému klasifikátoru. Na obrázku 14 je zobrazené pripojenie odberovej trubice a elektrostatického klasifikátora (bod 2) bez zapojenia kazety.

V prípade merania účinnosti filtrácie vzorky je kazeta (bod 6) pripojená na miesto 1 znázornené v obrázku 14.

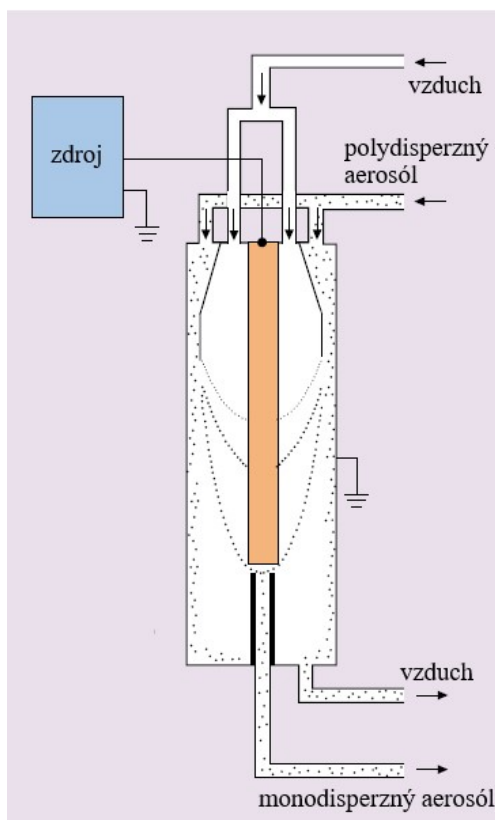


Obrázok 14 Meracie prístroje a ich časti:

(1) pripojenie odberovej trubice a miesto zapojenia kazety, (2) Elektrostatický klasifikátor model 3080, (3) impaktor, (4) neutralizátor, (5) Long DMA, (6) výstup monodisperzného aerosolu, (7) kondenzačný počítač častíc model 3775, (8) počítač.

Elektrostatický klasifikátor zabezpečuje separáciu polydisperzného aerosólu na monodisperzný. Samotný prístroj je zložený z troch primárnych častí zobrazených na obrázku 14: impaktora (bod 3), neutralizátora (bod 4) a analyzátora diferenciálnej pohyblivosti (DMA) (bod 5). Prostredníctvom impaktora prichádza pri vstupe častíc do prístroja k odlúčeniu veľkých častíc, ktoré prístroj nevie spracovať. V neutralizátore sa rádioaktívnou bipolárnou nabíjačkou vytvára bipolárne rovnovážna hladina náboja na časticiach [38]. Častice dostanú buď kladný, záporný alebo nulový náboj. Množstvo náboja, ktoré častice získajú, úzko súvisí ich veľkosťou.

V DMA sú častice rozdelené podľa svojej elektrickej mobility. Stavba DMA je zložená z trubice a vnútorného valca podľa obrázka 15 [38]. Vnútorný valec je pripojený k zápornému napájacímu zdroju a nesie záporný náboj. Po vstupe do DMA sú častice ovplyvnené vzniknutým elektrickým poľom, čo má za následok, že častice so záporným nábojom sú odrazené smerom k vonkajšej stene a ukladajú sa na nej. Častice s neutrálnym nábojom vychádzajú s prebytočným vzduchom a častice s kladným nábojom sa rýchlo pohybujú smerom k záporne nabitému prvku. Iba častice v úzkom rozsahu elektrickej mobility majú správnu trajektóriu a dokážu prechádzať otvorenou štrbinou v blízkosti výstupu DMA. Počas opísaného procesu vzniká monodisperzný aerosól [38].



Obrázok 15 Long DMA [38].

Monodisperzný aerosól vystupujúci z elektrostatického klasifikátora vstupuje do kondenzačného počítača častíc. V kondenzačnom počítači častíc sa vzorka aerosólu zmieša s butanolovou parou a spolu prechádzajú do kondenzátora. V kondenzátore prichádza k presýteniu butanolových pár a ich následnej kondenzácii [39]. Častice prítomné vo vzorke slúžia ako kondenzačné jadrá. Akonáhle začne kondenzácia, častice rýchlo rastú do väčších kvapôčok a prechádzajú optickým detektorom [39]. Pomocou optického detektora sú častice spočítané a získané dáta sa zaznamenajú v počítači.

5.2.2 Postup merania

Pred zahájením merania bol pripravený trojpercentný roztok chloridu sodného (NaCl), ktorý bol použitý k produkcii častíc generátorom. Roztok NaCl bol naliaty do generátora častíc a následne bol generátor umiestnený do krabice podľa obrázka 12. Po spustení generátora prišlo k tvorbe častíc NaCl a v krabici vznikol polydisperzný aerosól. Meranie bolo možné zahájiť po tom, ako sa v krabici ustálila koncentrácia častíc NaCl. Čas, za ktorý sa koncentrácia ustálila, bol približne tri hodiny.

Po ustálení koncentrácie aerosólu v krabici bola na odvodovú trubicu pripojená kazeta so vzorkou. Druhý koniec kazety bol pripojený k elektrostatickému klasifikátoru ako bolo popísané v kapitole 5.2.1. Aerosól nachádzajúci sa v krabici prechádzal cez kazetu so vzorkou do elektrostatického klasifikátora. Prietok vzduchu pri vstupe do elektrostatického klasifikátora bol $Q = 0,3 \text{ l/min}$.

V priebehu merania sa v časti elektrostatického kvalifikátora DMA menila veľkosť napätia na vnútornom valci. Napätie počas prvých 170 sekúnd rástlo a následne 10 sekúnd klesalo na pôvodnú hodnotu. Pokiaľ bolo napätie nízke, štrbinou popísanou v kapitole 5.2.1, prechádzali malé častice. Postupné zvyšovanie napätia umožnilo prejsť väčším časticiam. Série trvajúce 180 sekúnd, počas ktorých prichádza k zmene napätia, sa opakovali

v priebehu celého merania. Meranie sa uskutočnilo na rozsahu veľkosti priemeru častíc od 0,02 do 1 μm , čo je zároveň maximálne rozmedzie, ktoré je v možnostiach DMA [38].

Na výstupe elektrostatického klasifikátora prišlo k spočítaniu preniknutých častíc kondenzačným počítačom častíc a zaznamenaniu dát v počítači.

Meranie bol kontinuálny proces počas ktorého prichádzalo k výmene vzoriek v kazete. Jedna vzorka vložená v kazete bola meraná 40 minút. Následne prebehlo meranie s prázdnu kazetou bez vzorky po dobu 20 minút. Po dvadsiatich minútach merania prázdnej kazety, bola do kazety vložená ďalšia vzorka. Tento proces sa opakoval, kým neboli odmerané všetky vzorky A1-A12. Po ukončení merania jednotlivých vzoriek sa pristúpilo pri vzorkách A2 a A6 k meraniu viacerých vrstiev vzorky.

V poslednom kroku merania bol zmenšený kruhový prierez kazety vložením plastovej výplne v tvare medzikružia. Pôvodný prierez S_{40} o priemere 40 mm bol zmenšený na kruhový prierez S_{20} a S_{10} o priemere 20 mm a 10 mm, čo umožnilo zvýšenie rýchlosti prúdenia vzduchu cez vzorku. Vzorka A2 bola odmeraná pre každý zo spomenutých prierezov.

5.2.3 Výsledky merania

Pri meraní filtračnej účinnosti vzoriek boli vyhodnotené dáta ako pre početnú účinnosť filtrácie, tak aj pre hmotnostnú účinnosť filtrácie. Jednotlivé účinnosti filtrácie vzoriek sú zaznamenané v tabuľke 8.

Tabuľka 8 Účinnosť filtrácie vzoriek.

Vzorka	Početná účinnosť [%]	Hmotnostná účinnosť [%]
A1	62,33	48,52
A2	58,92	43,80
A3	50,34	39,38
A4	74,03	68,48
A5	57,67	41,86
A6	28,86	17,77
A7	99,96	99,99995
A8	99,00	99,997
A9	58,06	50,65
A10	50,58	35,85
A11	88,22	80,81
A12	63,95	54,89

Najvyššiu účinnosť filtrácie dosiahli vzorky A7 (respirátor) a A8 (chirurgické rúško) a to nad 99%. Pre zapísanie reálnej hodnoty hmotnostnej účinnosti museli byť vzorky A7 a A8 v tabuľke 8 zaokrúhlené na väčší počet desatinných miest. Tieto výsledky boli očakávané, pretože pre vzorky A7 a A8 bol použitý materiál z certifikovaných osobných ochranných prostriedkov dýchacích ciest.

Najvyššiu účinnosť filtrácie po vzorkách A7 a A8 dosiahla vzorka A11 (vrecko vysávača). Vzorka A11 je vyrobená z mikrovláknovej antibakteriálnej netkanej textílie. Netkaná textília má viac pórov na jednotku plochy oproti tkanej textílii, čo umožňuje lepšiu filtráciu. Materiál použitý na vzorku A11 sa v najväčšej miere približuje materiálu používanému na výrobu osobných ochranných prostriedkov. Na druhej strane najnižšiu

filtračnú účinnosť z netkaných textílií dosiahla vzorka A10 (záhradná textília). Vzorka A10 má najmenšiu gramáž zo všetkých testovaných vzoriek. Je pravdepodobné, že práve nízka gramáž vzorky negatívne ovplyvnila účinnosť filtrácie. Pre potvrdenie tohto tvrdenia je nevyhnutné urobiť ďalšie meranie pre materiál vzorky A10 s vyššou gramážou.

Z tkaných textílií dosiahla najväčšiu početnú filtračnú účinnosť vzorka A4 (rifľovina) 74,03%. Vzorka A4 je vyrobená z rovnakého materiálu ako vzorka A2 (bavlnený satén), iba má viac ako dvojnásobnú gramáž oproti vzorke A2. Pre porovnanie vzorka A2 dosiahla početnú účinnosť iba 58,92%. Približne rovnakú účinnosť ako vzorka A2 dosiahla aj tkaná textília A5 (umelý hodváb). Druhú najvyššiu účinnosť z tkaných textílií dosiahla vzorka A1 (viskózová zmes).

Všetky testované vzorky okrem vzorky A6 (ľan) dosiahli početnú účinnosť filtrácie vyššiu ako 50%. Vzorka A6 dosiahla účinnosť filtrácie nižšiu ako 30%. Zvýšenie účinnosti filtrácie sa dá dosiahnuť vrstvením materiálu. Pre zvýšenie účinnosti filtrácie vzorky A6 bolo uskutočnené meranie, kedy bol materiál vzorky testovaný ako jeden až štvorvrstvý.

Tabuľka 9 Účinnosť filtrácie vzorky A6 pre 1 až 4 vrstvy.

Počet vrstiev vzorky A6	Početná účinnosť [%]	Hmotnostná účinnosť [%]
1	28,86	17,77
2	59,96	40,56
3	63,70	51,54
4	65,27	52,07

V tabuľke 9 sa nachádzajú výsledky merania účinnosti filtrácie pre rôzny počet vrstiev materiálu A6. Početná účinnosť filtrácie vzorky A6 dosiahla hodnotu vyššiu ako 50% pri meraní dvoch vrstiev.

Pre zistenie vplyvu rýchlosti prúdenia vzduchu na účinnosť filtrácie bolo pre vzorku materiálu A2 (bavlna), uskutočnené meranie aj pri zvýšenej rýchlosti prúdenia vzduchu. Vyššia rýchlosť prúdenia sa dosiahla prostredníctvom plastovej výplne vo forme medzikružia, ktorá bola vložená do kazety spolu so vzorkou. Na základe známej hodnoty prietoku $Q=0,3 \text{ l/min}$ a prierezov S_{40} , S_{20} , S_{10} , cez ktoré prebiehalo meranie, bola pomocou rovnice kontinuity $Q = S \cdot v$ vypočítaná rýchlosť pre každý z prierezov v tabuľke 10.

Tabuľka 10 Rýchlosti v prierezoch S_{40} , S_{20} , S_{10} .

Prierez	Priemer prierezu [mm]	Rýchlosť [mm/s]
S_{40}	40	3,98
S_{20}	20	15,92
S_{10}	10	63,66

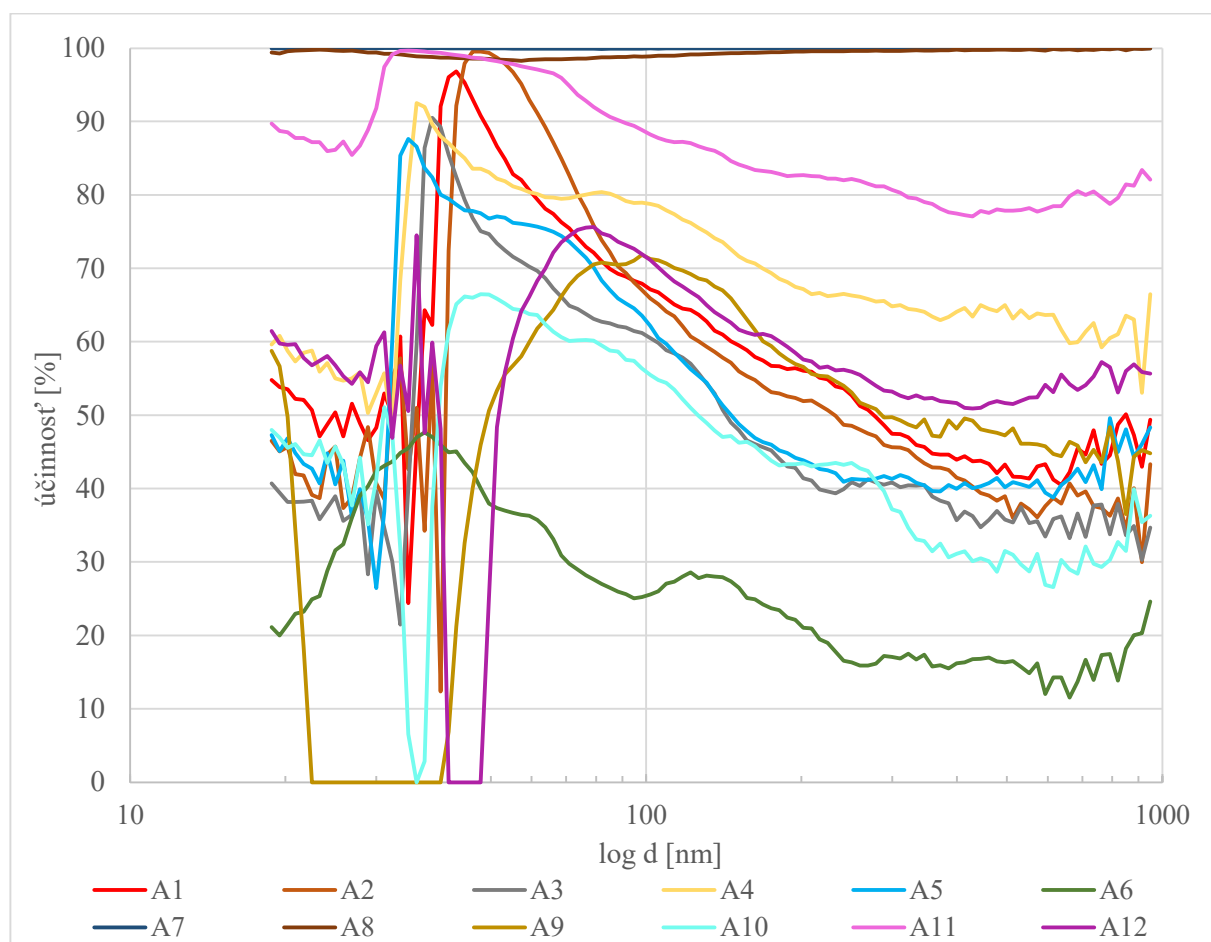
Meranie účinnosti filtrácie vzorky A2 sa uskutočnilo pre všetky tri prierezy a odpovedajúce rýchlosti uvedené v tabuľke 10. Získané hodnoty účinnosti vzorky A2 sú zapísané v tabuľke 11.

Tabuľka 11 Účinnosť filtrácie vzorky A2 pri rôznych prierezoch.

Počet vrstiev vzorky A2	Početná účinnosť [%]			Hmotnostná účinnosť [%]		
	Prierez					
	S ₄₀	S ₂₀	S ₁₀	S ₄₀	S ₂₀	S ₁₀
1	58,92	40,24	26,78	43,80	21,68	17,69
2	68,03	61,06	50,43	52,68	43,62	33,92

Na základe hodnôt uvedených v *tabuľke 11* je zrejmé, že so zvyšujúcou rýchlosťou prúdenia vzduchu účinnosť filtrácie klesá. Vzorka A2 je vyrobená z bavlny, ktorá je najbežnejšie používaná tkanina v domácnostiach. Typickými výrobkami z bavlny sú utierky na riad a posteľná bielizeň. Pre vzorku A2 bolo uskutočnené meranie aj pre 2 vrstvy materiálu. Ako je možné vidieť v *tabuľke 11*, pridaním ďalšej vrstvy materiálu sa účinnosť filtrácie vzorky zvýšila od 10 do 20% v závislosti od rýchlosti.

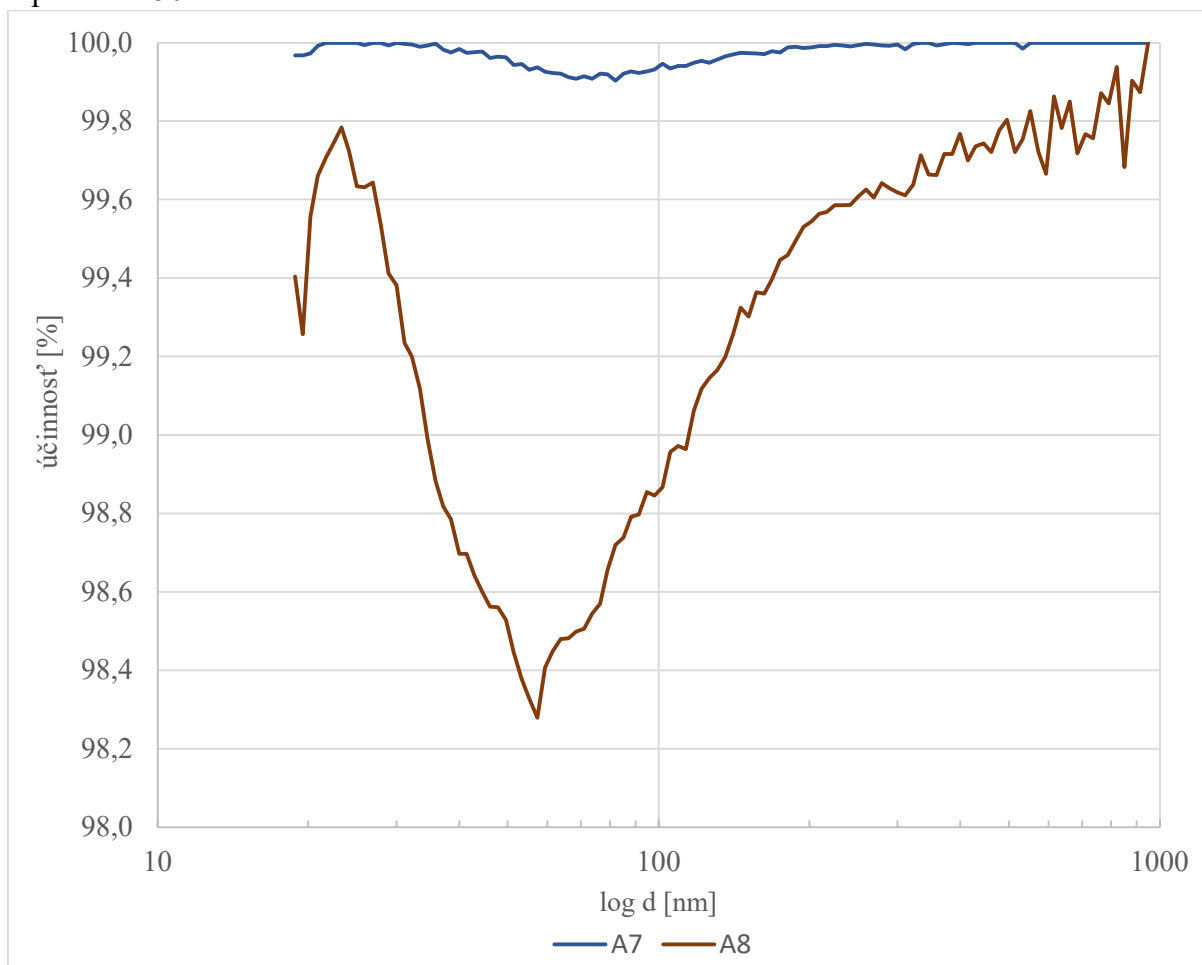
Obrázok 16 znázorňuje graf frakčnej odlúčivosti častíc. V grafe je vidieť, že vzorky A9, A10 a A12 dosiahli pre častice veľmi malých priemerov nulovú účinnosť. Tento jav je spôsobený krátkou dobou trvania merania, počas ktorej neprišlo k tvorbe dostatočne veľkého počtu malých častíc generátorom.



Obrázok 16 Graf frakčnej odlúčivosti vzoriek A1-A12.

Z obrázku 16 je zřejmé že vzorky A1 až A10 dosahovali největší účinnosti filtrace pro částice s průměrem menším ako 100 nm a následně ich účinnost klesala. Na druhé straně, vzorky A7 a A8 dosahovali pro částice menší ako 100 nm nejnižší hodnoty filtrace.

Pro přesnější zobrazení frakční účinnosti boli vzorky A7 a A8 opětovně zakreslené do samostatného grafu na obrázku 17. Z grafu je zřejmé, že frakční účinnost vzorky A8 dosahuje pro velmi malé průměry částic a pro průměry částic nad 100 nm takmer 100% účinnost filtrace. Minimální hodnoty účinnosti filtrace dosáhla vzorka A7 pro částice o velikosti průměru 80 nm. Vzorka A8 dosáhla minimální hodnoty odlučivosti pro částice o průměru 50 nm.



Obrázok 17 Graf frakčnej odlučivosti vzoriek A7 a A8.

5.3 Tlaková strata materiálu

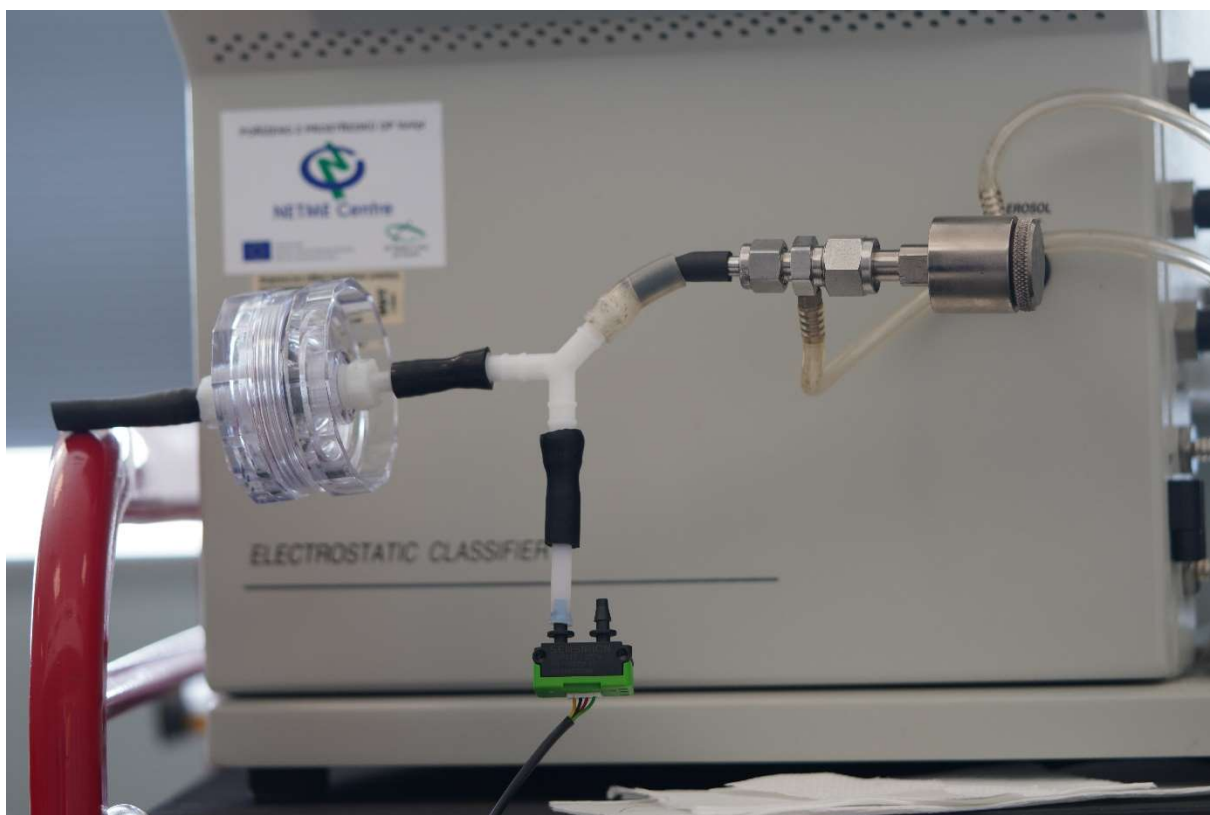
Tlaková strata, kterou vytváří materiál při průtoku vzduchu přes něj, je důležitá vlastnost, která ovlivňuje pohodlné dýchání. Cílem měření tlakové ztráty materiálu je zjistit, jaký velký odpor kladie materiál při průtoku vzduchu a tím určit, či je materiál vhodný na ušití látkového rúška.

5.3.1 Popis měřicího řetězce a postup měření

Měřicí řetězec na určení tlakové ztráty materiálu je složený z elektrostatického klasifikátoru model 3080, kazety do které se vkládají vzorky, snímače tlaku a počítače podle *obrázka 18*. Jeden konec kazety a snímače tlaku je připojený k přívodu vzduchu a druhý konec se nachází volně, aby na jeho konci působil atmosférický tlak.

Po zahájení měření elektrostatický klasifikátor nasával vzduch o průtoku $Q=0,3 \text{ l/min}$ přes snímač tlaku a kazetu o kruhovém průřezu S_{40} s průměrem 40 mm. Tlaková ztrata byla získána jako rozdíl tlaku v místě za kazetou a atmosférického tlaku na vstupu do kazety. Měření probíhalo po dobu jedné minuty s prázdnou kazetou a potom postupně rovnako po dobu jedné minuty na všech vzorcích A1-A12. Následně byl zmenšený průřez kazety vložením plastové výplně na kruhový průřez S_{20} o průměru 20 mm a kruhový průřez S_{10} o průměru 10 mm. Zmenšení průřezu umožnilo zvýšení rychlosti průtoku. Hodnoty jednotlivých rychlostí jsou zapsány v *tabulce 10*. Po každém zmenšení průřezu proběhlo měření s prázdnou kazetou a postupně opět so všemi vzorky A1-A12.

Měření probíhalo s jednovrstvovými vzorky, i.e. vzorky respirátor (A7) a chirurgické rúško (A8) byly odměřeny trojvrstveno tak, jako byly schváleny certifikovaným laborátoriím. Po ukončení měření každé vzorky materiálu pro všechny tři rychlosti, byla odměřena vzorka A6 v 2 až 4 vrstvách materiálu pro kruhový průřez S_{40} .



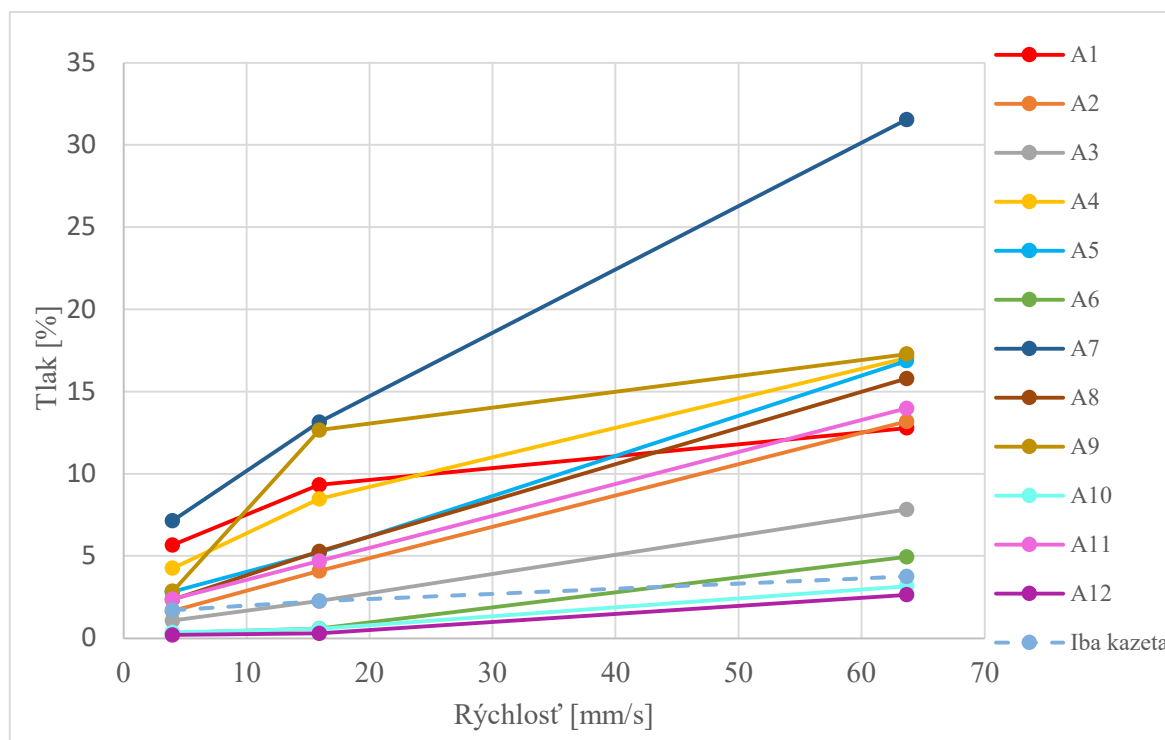
Obrázok 18 Meranie tlakovej straty.

5.3.2 Výsledky merania tlakovej straty

Pred meraním vzoriek materiálov bola odmeraná tlaková strata meracieho reťazca s prázdnu kazetou (bez vzoriek). Priemerná hodnota tlakovej straty prázdnej kazety po dobu merania 60 sekúnd pre všetky tri rýchlosti je zapísaná v *tabuľke 12*. Následne sa uskutočnilo meranie pre každú vzorku (A1-A12). Od zistenej tlakovej straty vzoriek sa odpočítala tlaková strata meracieho reťazca s prázdnu kazetou a výsledné hodnoty boli zaznamenané v *tabuľke 12* a graficky znázornené v *obrázku 19*.

Tabuľka 12 Tlaková strata vzoriek A1-A12.

Vzorky	Tlak [Pa]		
	Prierez S ₄₀	Prierez S ₂₀	Prierez S ₁₀
Meracia trať iba s kazetou	1,71	2,26	3,76
A1	5,67	9,32	12,79
A2	1,66	4,09	13,19
A3	1,08	2,27	7,84
A4	4,26	8,47	17,05
A5	2,83	5,22	16,88
A6	0,34	0,58	4,95
A7	7,15	13,14	31,55
A8	2,35	5,27	15,80
A9	2,86	12,66	17,29
A10	0,36	0,56	3,17
A11	2,38	4,69	13,99
A12	0,20	0,28	2,65



Obrázok 19 Tlaková strata vzoriek A1-A12.

Z obrázku 19 je zřejmé, že čím je vyšší rychlost průdení vzduchu, tím je vyšší nameraný tlak. Najvyššiu tlakovú stratu dosiahla vzorka A7 (respirátor). Tento výsledok bol očakávaný, pretože vzorka bola odmeraná tak ako bola vyrobená a certifikovaná, teda trojvrstvová netkaná textília. Vzorka A8 (chirurgické rúško) bola zaradená do experimentu rovnako ako vzorka A7 tak, ako ju schválilo certifikované laboratórium. Pri porovnaní vzoriek A7 a A8 je zřejmé, že vzorka A7 má pri najnižšej rýchlosti tlakovú stratu skoro trojnásobne vyššiu ako vzorka A8.

Z netkaných textílií dosiahla najvyššiu tlakovú stratu vzorka A11 (vysávačové vrečko). Na druhej strane, úplne najnižšiu hodnotu tlakovej straty nielen z netkaných textílií ale zo všetkých vzoriek dosiahla vzorka A12 (vysávačový filter).

Z tkaných textílií dosiahli najvyššie hodnoty tlakovej straty vzorky A4 (rifľovina) a A5 (umelý hodváb). Vzorky A4 a A5 v porovnaní so vzorkou A8 (chirurgické rúško) dosiahli vyššiu tlakovú stratu. Pre účinnosti filtrácie materiálu sa látkové rúška šijú viacvrstvové. Pri porovnaní tlakovej straty vzoriek A4, A5 so vzorkou A8 je potrebné si uvedomiť, že ak je tlaková strata jednej vrstvy testovaného materiálu väčšia ako vzorky trojvrstvého rúška je pravdepodobné, že pri vrstvení materiálov vzoriek A4 a A5 príde tak veľkej tlakovej strate, že bude výrazne obmedzené pohodlné dýchanie.

Vzorka A4 a vzorka A2 (bavlnený satén) sú obe vyrobené z rovnakého materiálu, bavlny, iba majú rozdiel gramáž. Vzorka A4 má vyššiu gramáž aj tlakovú stratu. Na základe tohto zistenia je možné usúdiť, že čím má materiál väčšiu gramáž, tým bude jeho tlaková strata väčšia.

Najnižšiu tlakovú stratu z tkaných textílií dosiahla vzorka A6 (ľan). Vzorka A6 je vyrobená z veľmi tenkej vzdušnej prírodnej textílie, často používanej na šitie posteľnej bielizne a letného oblečenia, preto je jej tlaková strata očakávané nízka. Z dôvodu, že vzorka dosiahla z tkaných textílií najnižšiu tlakovú stratu, je pravdepodobné že jej filtračná účinnosť bude veľmi nízka. Zvýšenie filtračnej účinnosti je možné dosiahnuť vrstvením materiálu. Je zřejmé, že s každou pridanou vrstvou materiálu tlaková strata rastie.

Pre vzorku A6 bola odmeraná tlaková strata jednej až štyroch vrstiev materiálu pre najväčší prierez S_{40} . Hodnoty tlaku získané pre jednotlivé počty vrstiev vzorky A6 sú zapísané v tabuľke 13. Na základe porovnania hodnôt z tabuľky 13 a tabuľky 12 je tlaková strata 4 vrstiev vzorky A6 menšia ako tlaková strata jednej vrstvy tkaných textílií A1, A2, A4 a A5.

Tabuľka 13 Tlaková strata vzorky A6 pre 1-4 vrstvy materiálu.

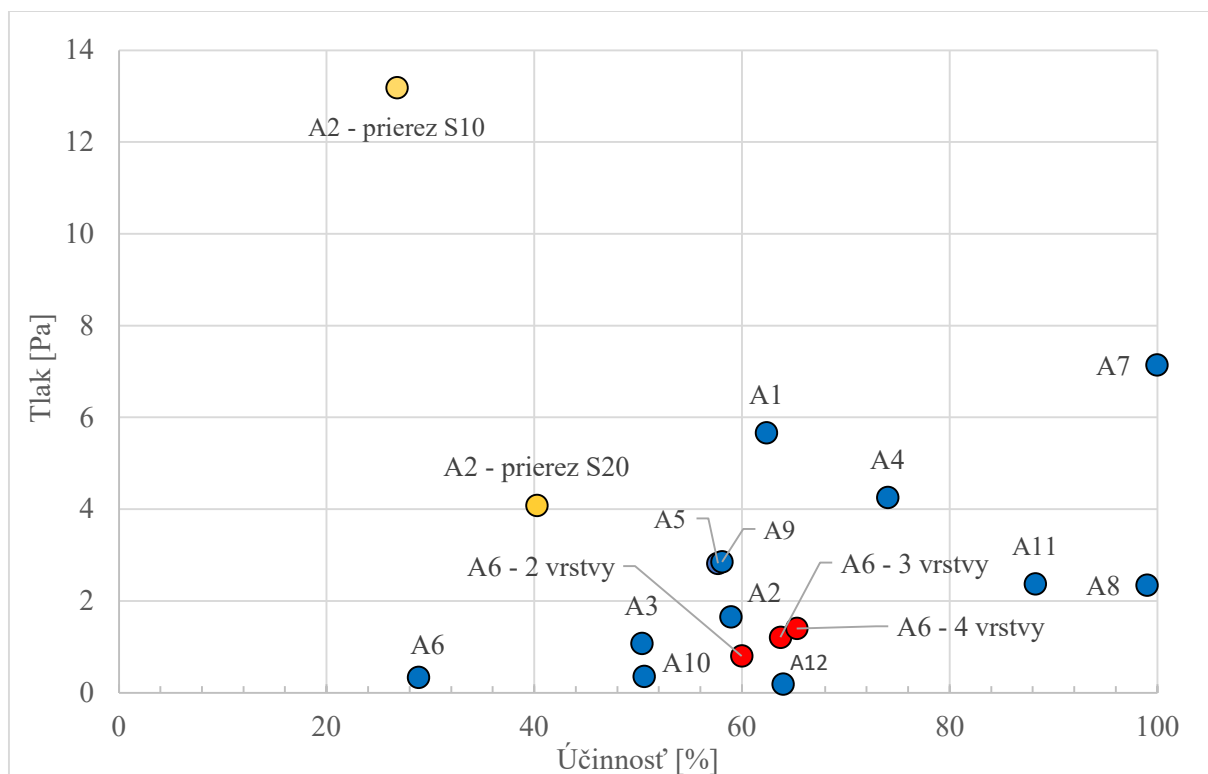
Počet vrstiev	1	2	3	4
Tlak [Pa]	0,34	0,81	1,21	1,40

Druhú najvyššiu tlakovú stratu v celom meraní dosiahla vzorka A9 (kávový filter). Vzorka A9 je vyrobená z celulózy, dôsledkom čoho nie je známe ako sa materiál bude správať, keď na neho začne pôsobiť vlhkosť z dýchania.

5.4 Diskusia

Pri určovaní vhodnosti použitia materiálu na ušitie látkového rúška je nevyhnutné zobrať do úvahy okrem účinnosti filtrácie aerosólových častíc aj tlakovú stratu, ktorú materiál vytvára pri dýchaní. Cieľom je určiť materiál s čo najvyššou účinnosťou filtrácie a zároveň s najnižšou tlakovou stratou.

Na obrázku 12 sa nachádza graf závislosti tlakovej straty na účinnosti filtrácie. V grafe sú vyznačené všetky merané vzorky materiálu pre rýchlosť prúdenia vzduchu odpovedajúcej prierezu S_{40} a pre vzorku bavlneného saténu aj pre rýchlosti odpovedajúce prierezom S_{20} a S_{10} .



Obrázok 20 Graf závislosti účinnosti na tlaku pre vzorky materiálu A1-A12.

Na základe experimentálneho merania je možné zhodnotiť, že z bežne dostupných materiálov dosiahol najväčšiu účinnosť filtrácie materiál používaný na výrobu vreciek do vysávača. Tlaková strata materiálu bola zároveň nižšia ako tlaková strata chirurgického rúška, čo z materiálu na vrecko do vysávača robí vhodnú alternatívu pri nedostatku osobných ochranných prostriedkov. Je nevyhnutné si uvedomiť, že materiál na výrobu vrecka do vysávača nie je testovaný na zdravotnú nezávadnosť a pred použitím na ušitie látkového rúška by mal byť otestovaný.

Z materiálov, ktoré sú predávané ako zdravotne nezávadné, dosiahla najväčšiu účinnosť filtrácie tkaná textília rifl'ovina. Tlaková strata rifl'oviny bola vyššia ako chirurgického rúška, čo by pri použití materiálu obmedzovalo dýchanie vo vyššej miere. Druhú najvyššiu účinnosť z tkaných textílií dosiahla viskózová zmes. Pri porovnaní tlakovej straty rifl'oviny a viskózovej zmesi, má viskózová zmes tlakovú stratu nižšiu ako rifl'ovina. Na základe tohto zistenia je viskózová zmes vhodnejšia na ušitie látkového rúška.

Podobnú účinnosť filtrácie ako viskózová tkanina dosiahol materiál používaný na výrobu filtra do vysávača. Tlaková strata materiálu filtra do vysávača bola najnižšia zo všetkých vzoriek. Materiál filtra do vysávača tak poskytuje optimálnu kombináciu účinnosti filtrácie a tlakovej straty. Tento materiál rovnako ako materiál na vrecko do vysávača nebol testovaný na zdravotnú nezávadnosť.

Úplne najnižšiu účinnosť filtrácie zo všetkých vzoriek dosiahla vzorka ľanu iba 28%. Na základe merania je možné zhodnotiť, že tento materiál nie je vhodný na ušitie látkového rúška.

Zvýšiť účinnosť filtrácie materiálu je možné vrstvením, avšak vrstvenie materiálov výrazne zvyšuje tlakovú stratu. Pre vytvorenie vhodného látkového rúška je nevyhnutné optimalizovať počet vrstiev a tlakovú stratu materiálu. Napríklad pri meraní účinnosti filtrácie a tlakovej straty boli uskutočnené merania vzorky ľanu pre jednu až štyri vrstvy. Účinnosť filtrácie pridaním druhej vrstvy vzrástla o približne 43%. Pridaním tretej vrstvy vzrástla účinnosť filtrácie oproti dvom vrstvám o 6%. Pridaním štvrtej vrstvy sa účinnosť zvýšila oproti trom vrstvám iba o 2%. Tlaková strata sa ale pridaním štvrtej vrstvy materiálu zvýšila o takmer 15%. Na základe výsledkov merania viacerých vrstiev materiálu vzorky ľanu sa zistilo, že je optimálne použiť pre ušitie látkového rúška trojvrstvový materiál, ktorý má približne rovnakú účinnosť filtrácie ako štvorvrstvový, ale s výrazne nižšou tlakovú stratu.

Tkané textílie bavlnený satén, umelý hodváb a rongo dosiahli účinnosť filtrácie nižšiu ako 60%, čo je v porovnaní s respirátorom, chirurgickým rúškom a vysávačovým vreckom veľmi nízke. Zvýšenie účinnosti by sa dalo dosiahnuť už spomínaným vrstvením. Pri zohľadnení dosiahnutej tlakovej straty materiálu by bolo možné vrstviť iba materiály bavlnený satén a rongo. Umelý hodváb dosahuje už pri meraní jednej vrstvy materiálu vyššiu tlakovú stratu ako chirurgické rúško a pri zvýšení vrstiev by prišlo k obmedzeniu pohodlného dýchania.

Do uskutočneného experimentálneho merania bola zaradená aj vzorka kávového filtra V60. Tento materiál dosiahol veľkú tlakovú stratu pri pomerne nízkej účinnosti filtrácie pod 60%. Materiál je vyrobený z papiera a preto nie je známe správanie účinnosti a tlakovej straty materiálu pri vystavení teplému a vlhkému vzduchu dýchania. Na základe experimentálne získaných výsledkov, materiál nie je vhodný na výrobu látkového rúška.

Optimálny materiál na výrobu látkového rúška by mohol pozostávať z kombinácií vrstiev skúmaných materiálov. Napríklad pri kombinácii jednej vrstvy rifl'oviny a vrstvy ronga by vznikol materiál, ktorý by mal účinnosť nad 70%. Zároveň tlaková strata materiálu by nemusela byť veľká. Vhodnou kombináciou vrstiev materiálu by sa mohla stať aj kombinácia jednej vrstvy materiálu na výrobu vysávačového filtra a jednej alebo dvoch vrstiev viskózy. Spomenuté kombinácie vychádzajú z predpokladaného správania sa filtračnej účinnosti a tlakovej straty počas merania jednovrstvových vzoriek. Pre určenie účinnosti filtrácie a tlakovej straty navrhnutých kombinácií by muselo byť uskutočnené dodatočné meranie pre každú kombináciu materiálov.

Ako bolo spomenuté v úvode kapitoly 5, experimentálne meranie nebolo uskutočnené podľa žiadnej platnej Európskej normy. Pre meranie účinnosti filtrácie látkových rúšok neexistuje platná norma, podľa ktorej by sa účinnosť filtrácie častíc a tlaková strata posudzovala. Cieľom bolo uskutočniť meranie, tak aby sa čo najviac priblížilo už existujúcim normám. Chemická látka NaCl použitá na tvorbu aerosólových častíc je najčastejšie používaná látka pri skúmaní účinnosti filtrácie a zhoduje sa s normami EN 149:2001+A1:2009 a EN 13274-7. Zámerom bolo skúmať veľkosť častíc na rozdelení veľkosti priemeru od 0,02 μm do 2 μm podľa normy EN 149:2001 +A1:2009, ale pre technické obmedzenie prístrojov sme dokázali odmerať rozdelenie veľkosti priemeru častíc iba od 0,02 μm do 1 μm .

6 Závěr

V roku 2020 vypukla celosvetová pandémia nového ochorenia COVID19, ktoré spôsobil koronavírus SARS-CoV-2. Nástup pandémie bol veľmi rýchli a vyvolal globálny nedostatok osobných ochranných prostriedkov dýchacích ciest. V súvislosti s nedostatkom osobných ochranných prostriedkov dýchacích ciest si široká verejnosť začala podomácky vyrábať látkové rúška z bežne dostupných materiálov. Novovzniknutá situácia vyvolala mnoho otázok o vhodnosti použitia materiálov na výrobu látkových rúšok. Cieľom práce bolo určiť najvhodnejší bežne dostupný materiál, ktorý je možné použiť na výrobu látkového rúška v prípade nedostatku osobných ochranných prostriedkov.

Posudzovaných bolo dvanásť typov rôznych materiálov. Desať vzoriek tvorili bežne dostupné tkané a netkané textílie a dve vzorky certifikované osobné ochranné prostriedky dýchacích ciest – chirurgické rúško a respirátor. Jednotlivé materiály boli posudzované na základe účinnosti filtrácie ultrajemných častíc veľkosti vírusu a tlakovej straty, ktorú vytvárajú pri prechode vzduchu cez materiál. Meranie na vzorkách chirurgického rúška a respirátora slúžilo na validáciu výsledkov experimentálneho merania. Cieľom práce bolo nájsť materiál s čo najvyššou účinnosťou filtrácie častíc a zároveň s najnižšou tlakovou stratou.

Najlepšiu účinnosť filtrácie z bežne dostupných materiálov dosiahol materiál vrecka do vysávača a najnižšiu hodnotu tlakovej straty dosiahol materiál používaný ako filter do vysávača. Oba spomenuté materiály sú vyrobené z netkanej textílie, ktorá sa používa aj na výrobu chirurgických rúšok a respirátorov. Z tkaných textílií dosiahla najvyššiu účinnosť filtrácie rifľovina a najnižšiu tlakovú stratu dosiahol ľan.

Na základe uskutočneného merania je doporučené pre výrobu látkového rúška použiť materiály viskózovú zmes a bavlnený satén, a to viacvrstvovo. Tieto materiály dosiahli optimálnu hodnotu účinnosti filtrácie a tlakovej straty. Materiály vysávačové vrecko a vysávačový filter neboli testované na zdravotnú nezávadnosť a preto ich v súčasnom stave nie je možné odporučiť.

V súčasnosti neexistuje žiadna norma, ktorá by definovala spôsoby skúšania látkových rúšok a materiálov z ktorých sú vyrobené. Meranie bolo uskutočnené s cieľom priblížiť sa už existujúcim európskym normám pre skúšanie osobných ochranných prostriedkov a určovanie účinnosti filtrácie materiálu, ale bolo obmedzené možnosťami prístrojov. Výsledky získané meraním sú informačného charakteru. Pre zistenie presnejších výsledkov, by bolo potrebné meranie zopakovať v certifikovanom laboratóriu, ktoré sa zaoberá testovaním osobných ochranných prostriedkov.

Meranie účinnosti filtrácie a tlakovej straty materiálu prebiehalo pri konštantnom prietoku vzduchu a nezahrňovalo vplyv vlhkosti dýchania človeka na tlakovú stratu a účinnosť filtrácie materiálu. Na získané výsledky bakalárskej práce by sa dalo nadviazať skúmaním vplyvu vlhkosti dýchania na účinnosť filtrácie a tlakovú stratu, meraných parametrov pri zmene rýchlosti prietoku vzduchu alebo účinnosti filtrácie a tlakovej straty pri kombinácii rôznych materiálov.

ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮV

- [1] Nový koronavirus (SARS-CoV-2) a onemocnění COVID-19 [online]. 2020, 2(159), 1-12 [cit. 2021-03-05]. Dostupné z: https://www.covidfakta.eu/wp-content/uploads/2020/05/novy-koronavirus-sars-cov-2-a-onemocneni-covid-19-122272.pdf?fbclid=IwAR2qxQknZhRUA0cx0FawKDbEj8xAnE8OmPyvRqQ_fCWK5BJ5oOkcPAGMOIw
- [2] ASBACH, C., A. HELD AND A. KIENDLER-SCHARR Position paper of the Gesellschaft für Aerosolforschung on understanding the role of aerosol particles in SARS-CoV-2 infection. Assoc. Aerosol Res, 2020, 17.
- [3] HINDS, William C. Aerosol technology: properties, behavior, and measurement of airborne particles. 2nd ed. New York: John Wiley, 1999, xx, 483 s. : il. ISBN 0-471-19410-7.
- [4] BARON, P. A. a Klaus WILLEKE, 2011. Aerosol measurement: principles, techniques, and applications. 3rd ed. Hoboken: Wiley-Interscience. ISBN : 978-0-470-38741-2.
- [5] BRANIŠ, Martin a Iva HŮNOVÁ. Atmosféra a klima: aktuální otázky ochrany ovzduší. V Praze: Karolinum, 2009. ISBN 978-80-246-1598-1.
- [6] THOMAS, Dominique, Augustin CHARVET, Nathalie BARDIN-MONNIER a Jean-Christophe APPERT-COLLIN. Aerosol filtration. Kidlington, Oxford, UK: Elsevier, 2017. ISBN 978-1-78548-215-1.
- [7] HEMERKA, Jiří a Pavel VYBÍRAL. Ochrana ovzduší. V Praze: České vysoké učení technické, 2010. ISBN 978-80-01-04646-3.
- [8] WHO. Health effects of particulate matter [online]. In: . s. 1-20 [cit. 2021-5-20]. ISBN 978 92 890 0001 7. Dostupné z: https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf
- [9] SINGHAL, Tanu. A Review of Coronavirus Disease-2019 (COVID-19). The Indian Journal of Pediatrics [online]. 2020, 87(4) [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s12098-020-03263-6>.
- [10] ASADI, Sima, Nicole BOUVIER, Anthony S. WEXLER, a William D. RISTENPART. The coronavirus pandemic and aerosols: Does COVID-19 transmit via expiratory particles? Aerosol Science and Technology [online]. 2020, 54(6) [cit. 2021-05-15]. ISSN 0278-6826. Dostupné z: doi:10.1080/02786826.2020.1749229.
- [11] ZHANG, Renyi, Yixin LI, Annie L. ZHANG, Yuan WANG a Mario J. Molina. Identifying airborne transmission as the dominant route for the spread of COVID-19. Proceedings of the National Academy of Sciences [online]. 2020, 117(26), 14857-14863 [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: doi:10.1073/pnas.2009637117.
- [12] VAN DOREMALEN, N. Aerosol and surface stability of sars-cov-2 as compared with sars-cov-1. The New England Journal of Medicine [online]. 2020, 382(16), 1564-1567 [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: doi:10.1056/NEJMc2004973.
- [13] SOMSEN, G Aernout, Cees van RIJN, Stefan KOOIJ, Reinout A BEM a Daniel BONN. Small droplet aerosols in poorly ventilated spaces and SARS-CoV-2 transmission. Lancet Respir Med [online]. 2020, 8(7), 658-659 [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: doi: 10.1016/S2213-2600(20)30245-9.
- [14] DAS, Santosh K., Jan-e ALAM, Salvatore PLUMARI, a Vincenzo GRECO. Transmission of airborne virus through sneezed and coughed droplets. Physics of Fluids [online]. 2020, 32 [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: doi: 10.1063/5.0022859.
- [15] VUORINEN Ville, Mia ARNIO, Mikko ALAVA. Modelling aerosol transport and virus exposure with numerical simulations in relation to SARS-CoV-2 transmission by

- inhalation indoors. Safety Science [online]. 2020, 130 [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.ssci.2020.104866.
- [16] MITTAL Rajat, Rui Ni a Jung-Hee SEO. The flow physics of COVID-19. Journal of Fluid Mechanics [online]. 2020, 894 [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: doi:10.1017/jfm.2020.330.
- [17] ASADI, Sima, Anthony S. WEXLER a Christopher D. CAPP. Aerosol emission and superemission during human speech increase with voice loudness. Scientific Reports [online]. 2019, 9 [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-38808-z>
- [18] POURDEYHIMI, Behnam, Simon SCHICK, Robert GROTEN a Hooman TAFRESHI. Respiratory Effectiveness of Cloth Masks. Journal of Science and Medicine [online]. 2020, 3(1), 1-14 [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: <https://doi.org/10.37714/josam.v2i4.60>.
- [19] HEMERKA, Jiří. Filtrace atmosférického vzduchu II [online]. 17.8.2009, , 1-8 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/potrubi-a-jeho-soucasti/5843-filtrace-atmosferickeho-vzduchu-ii>
- [20] EN ISO 16890-1. Air filters for general ventilation – Part 1: Technical specifications, requirements and classification system based upon particulate matter efficiency (ePM). Brussels: European Committee for standardization, 2016.
- [21] EN 1822. High efficiency air filters (EPA, HEPA and ULPA) - Part 1: Classification, performance testing, marking. Brussels: European Committee for standardization, 2009.
- [22] WHO. Advice on the use of masks the community, during home care and in health care settings in the context of the novel coronavirus (2019-nCoV) outbreak [online]. In: . 29.1.2020, s. 1-2 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://www.who.int/docs/default-source/documents/advice-on-the-use-of-masks-2019-ncov.pdf>
- [23] European Centre for Disease Prevention and Control. Heating, ventilation and air-conditioning systems in the context of COVID-19: first update [online]. In: . Stockholm, 10 November 2020, s. 1-19 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://www.ecdc.europa.eu/sites/default/files/documents/Heating-ventilation-air-conditioning-systems-in-the-context-of-COVID-19-first-update.pdf>
- [24] MORAWSKA, Lidia a Donald K. MILTON. It is time to address airborne transmission of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). Clinical Infectious Diseases [online]. 2020, 71(9), 2311–2313 [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/cid/ciaa939>.
- [25] CWA 17553:2020. Community face coverings – Guide to minimum requirements, methods of testing and use. Brussels: European Committee for standardization, 2020.
- [26] Air Cleaners, HVAC Filters, and Coronavirus (COVID-19) [online]. United States Environmental Protection Agency, 2020 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/coronavirus/air-cleaners-hvac-filters-and-coronavirus-covid-19#main-content>
- [27] Chughtai, Abrar A., Holly Seale, C. Raina Macintyre. Effectiveness of Cloth Masks for Protection Against Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2. Emerging Infectious Diseases. 2020, 26(10), 1-5 [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: doi:10.3201/eid2610.200948.
- [28] Lorin - Ochranné rúško. Answer. [online]. [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: https://answer.sk/p/lorin-ochranne-rusko-381889?channable=00516066726f6e74656e645f696400505059382d414b443033595f393958dd&utm_campaign=glami_channable&utm_content=Lorin&utm_source=glami.sk&utm_medium=comparison&utm_term=Ona+%2F+Doplňky+%2F+R%C3%BA%C5%A1ka&ref=Glami.sk&gci=be434ff736f043add28c9806976af23ca450ab18.

- [29] BEESOON Sanjay, Nemeshwaree BEHARY a Anne PERWUELZ. Universal masking during COVID-19 pandemic: Can textile engineering help public health? Narrative review of the evidence. Preventive Medicine [online]. 2020, 139 [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2020.106236>
- [30] MINGRUI, Liao, Liu HUAYANG, Wang XI. A technical review of face mask wearing in preventing respiratory COVID-19 transmission. Current Opinion in Colloid and Interface Science [online]. 2021, 52 [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.cocis.2021.101417.
- [31] EN 149:2001+AC:2019. Respiratory protective devices – Filtering half masks to protect against particles – Requirements, testing, marking. Brussels: European Committee for standardization, 2009.
- [32] Face Mask Anti-Dust 3 Layer Mouth Masks Breathable Masks Face Care Elastic Earloop Breathing Mask. User Network for Healthcare and Relief Services [online]. [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://unhcrs.org/index.php/product/50pcs-disposable-mouth-face-mask-anti-dust-3-layer-mouth-masks-breathable-masks-face-care-elastic-earloop-breathing-mask/>
- [33] EN 14683:2019+AC. Medical face masks - Requirements and test methods. Brussels: European Committee for standardization, 2019.
- [34] RESPIRÁTOR FFP2. BEZDOTEKU [online]. [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://www.bezdoteku.cz/bezdoteku-respirator-ffp2-kn95-1-ks/>
- [35] Respirátor SPIRO FFP1 s ventilem - skládací. Nejodevy.cz [online]. [cit. 2021-4-21]. Dostupné z: <https://www.nejodevy.cz/respiratory-a-rouskey/922-respirator-spiro-ffp1-s-ventilem-skladaci-8591940001827.html>
- [36] VÝZKUMNÝ ÚSTAV BEZPEČNOSTI PRÁCE, V. V. I. Informace o ochraně dýchadel [online]. In: . 29. 3. 2020, s. 1-5 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: https://urgmed.cz/wp-content/uploads/2020/04/Ochrana-dy%CC%81chadel_v6.pdf?fbclid=IwAR3xPQvbm9iMrBv1uYS7yLQsRsQgGdw0D4eQBE29y8ddnEP0XPFOrkCtWHE
- [37] 3M, 2021. Comparison of FFP2, KN95, and N95 Filtering Facepiece Respirator Classes [online]. Saint Paul (Minnesota) [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: <https://multimedia.3m.com/mws/media/1791500O/comparison-ffp2-kn95-n95-filtering-facepiece-respirator-classes-tb.pdf>
- [38] Model 3080-Series Electrostatic Classifiers - Product information. Shoreview, USA: TSI Incorporated Particle Instruments, 2001.
- [39] Condensation Particle Counter model 3775 - Product information. Shoreview, USA: TSI Incorporated, 2012.

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

Symbol	Veličina	Jednotka
ρ	Hustota částice	kg.m^{-3}
ρ_0	Hustota částice s ekvivalentním aerodynamickým priemerom	kg.m^{-3}
d_{ae}	Ekvivalentný aerodynamický priemer	μm
<i>DMA</i>	Analyzátor diferenciálnej pohyblivosti	[-]
ePM_x	Účinnost' zachytu aerosólových částic veľkosti x	%
<i>HVAC</i>	Kúrenie, ventilácia a klimatizácia	[-]
<i>NaCl</i>	Chlorid sodný	[-]
p	Tlak	Pa
Q	Prietok vzduchu	l/min
<i>RNA</i>	Ribonukleová kyselina	[-]
S_{40}	Kruhový prierez s priemerom 40 mm	mm^2
S_{20}	Kruhový prierez s priemerom 20 mm	mm^2
S_{10}	Kruhový prierez s priemerom 10 mm	mm^2
<i>SARS-CoV-2</i>	Závažný akútny respiračný koronavírusový syndróm	[-]
u_p	Rýchlost' usadzovania	m.s^{-1}
v	Rýchlost' prúdenia	mm.s^{-1}

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obrázok 1 Definícia aerodynamického priemeru [7].	12
Obrázok 2 Rozdelenie častíc podľa veľkosti.	12
Obrázok 3 Prenosové cesty vírusu SARS-CoV-2 [11].	14
Obrázok 4 Trajektória a vzdialenosť dopadu častíc o priemere 200 μm uvoľnených kašľaním z ústnej dutiny vo výške 1,7 m [14].	15
Obrázok 5 Depozičné mechanizmy [18].	17
Obrázok 6 Koncentrácia mikročastíc obsahujúcich vírus v dobre a zle vetranom priestore [24].	19
Obrázok 7 Látková tvárová maska pre verejnosť [28].	21
Obrázok 8 Jednotlivé vrstvy chirurgickej masky [32].	23
Obrázok 9 Možnosti upínania chirurgických rúšok [25].	24
Obrázok 10 Respirátor s výdychovým/vdychovým ventilom a bez ventilu [34,35].	25
Obrázok 11 Vzorky testovaných materiálov.	30
Obrázok 12 Začiatok meracej trate: krabica (1), generátor (2), odberová trubka (3).	31
Obrázok 13 Meracia kazeta na upevnenie vzorky.	31
Obrázok 14 Meracie prístroje a ich časti:	32
Obrázok 15 Long DMA [38].	33
Obrázok 16 Graf frakčnej odlúčivosti vzoriek A1-A12.	36
Obrázok 17 Graf frakčnej odlúčivosti vzoriek A7 a A8.	37
Obrázok 18 Meranie tlakovej straty.	38
Obrázok 19 Tlaková strata vzoriek A1-A12.	39
Obrázok 20 Graf závislosti účinnosti na tlaku pre vzorky materiálu A1-A12.	41

ZOZNAM TABULIEK

Tabuľka 1 Rozdelenie filtrov pre bežné vetranie podľa EN ISO 16890-1 [20].....	18
Tabuľka 2 Rozdelenie vysokoúčinných filtrov podľa EN 1822 [21].....	18
Tabuľka 3 Výkonnostné požiadavky pre lekárske masky [33].....	24
Tabuľka 4 Prienik filtračným materiálom [31].....	26
Tabuľka 5 Dýchací odpor [31].....	26
Tabuľka 6 Prehľad noriem používaných v niektorých krajinách [37].....	27
Tabuľka 7 Typy materiálov.....	28
Tabuľka 8 Účinnosť filtrácie vzoriek.....	34
Tabuľka 9 Účinnosť filtrácie vzorky A6 pre 1 až 4 vrstvy.....	35
Tabuľka 10 Rýchlosti v prierezoch S_{40} , S_{20} , S_{10}	35
Tabuľka 11 Účinnosť filtrácie vzorky A2 pri rôznych prierezoch.	36
Tabuľka 12 Tlaková strata vzoriek A1-A12.	39
Tabuľka 13 Tlaková strata vzorky A6 pre 1-4 vrstvy materiálu.....	40