

Textilní ochrana dýchacích cest proti virům

Diplomová práce

Studijní program:

N0723A270003 Průmyslové inženýrství

Autor práce:

Bc. Tereza Carvová

Vedoucí práce:

Ing. Jana Šašková, Ph.D.

Katedra materiálového inženýrství





Zadání diplomové práce

Textilní ochrana dýchacích cest proti virům

Jméno a příjmení: Bc. Tereza Carvová
Osobní číslo: T20000034
Studijní program: N0723A270003 Průmyslové inženýrství
Zadávající katedra: Katedra hodnocení textilií
Akademický rok: 2020/2021

Zásady pro vypracování:

1. Rešerše na téma vlákněných struktur jako ochrany proti virům
2. Experimenty provádějte s ohledem na zdravotní rizika pouze s virům podobnými částicemi s vhodnou metodou detekce, kterou navrhnete a ověřte
3. Pomocí virům podobných částic ověřte chování virů při filtraci vzduchu, zaměřte se na experimenty modelující chování roušek a respirátorů
4. Výsledky diskutujte z hlediska snížení pravděpodobnosti virové nákazy

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování práce:
Jazyk práce:

tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

MILITKÝ Jiří, Aravin Prince PERIYASAMY a Mohanapriya VENKATARAMAN. *Textiles and their use in Microbes Protection: Special Focus on COVID-19 and other viruses*. CRC Press, 2021. ISBN 9780367691059

Vedoucí práce:

Ing. Jana Šašková, Ph.D.
Katedra materiálového inženýrství

Datum zadání práce:

29. října 2020

Předpokládaný termín odevzdání: 16. května 2022

doc. Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.
děkan

L.S.

Ing. Roman Knížek, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci jsem vypracovala samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Jsem si vědoma toho, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má diplomová práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědoma následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

10. května 2022

Bc. Tereza Carvová

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat především své vedoucí Ing. Janě Šaškové, Ph.D. za odborné konzultace a vedení při vypracování diplomové práce. Dále bych ráda poděkovala prof. Ing. Jakubovi Wienerovi, Ph.D. za konzultace a cenné rady. Také bych ráda poděkovala Ing. Janě Grabmüllerové za vytvoření snímků na rastrovacím elektronovém mikroskopu. Mé poděkování také patří Ing. Marii Kašparové, Ph.D. a Martině Čimburové za pomoc a ochotu v laboratoři. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat své rodině a svým blízkým, především Bc. Lucii Reslové, Bc. Janě Vimmerové a Bc. Kateřině Němcové za podporu ve studiu a při vypracování diplomové práce.

Anotace

Cílem diplomové práce je nalezení vhodného „modelu virů“ ve vodných kapénkách a jejich detekce. A následné otestování vybraných textilních vzorků na průnik „modelu virů“ z aerosolu. Teoretická část obsahuje popis virových částic z hlediska jejich chemického složení, morfologie, reprodukovatelnosti, klasifikaci a přenosu. Dále jsou uvedeny bariérové ochrany proti virům, jejich účel použití, filtrační mechanismy, materiál a struktura obličejových masek. V experimentální části je popsáno využití přístroje Analyzátor zbytkového aerosolu, na němž se testují bariérové vlastnosti textilií. Dále pak jsou nalezeny virům podobné částice, které jsou označeny barvivem pro lepší vizuální hodnocení.

Klíčová slova: virové částice, kasein, obličejové masky, bariérové vlastnosti textilií

Annotation

The aim of the diploma thesis is to find a suitable "virus model" in water droplets and their detection. Followed by testing of selected textile samples for penetration of the "virus model" from the aerosol. The theoretical part contains a description of viral particles in terms of their chemical composition, morphology, reproducibility, classification and transmission. Afterwards are the barrier protections against viruses, their purpose of use, filtration mechanisms, material and structure of face masks. The experimental part describes the use of the Residual aerosol analyzer, which is tested for barrier properties of textiles. Furthermore, virus-like particles are found and are labeled with a dye for better visual evaluation.

Key words: viral particles, casein, face masks, barrier properties of textiles

Obsah

| | |
|---|----|
| Seznam symbolů a zkratek | 9 |
| Úvod..... | 11 |
| Teoretická část | 12 |
| 1. Viry..... | 12 |
| 1.1. Chemické složení virů..... | 12 |
| 1.2. Morfologie virů | 13 |
| 1.3. Symetrie kapsidy | 14 |
| 1.4. Reprodukční cyklus virů | 16 |
| 1.5. Klasifikace virů | 17 |
| 1.6. Přenos virů | 18 |
| 2. Bariérová ochrana proti virům..... | 19 |
| 2.1. Účel použití obličejových masek | 19 |
| 2.2. Zdravotnické roušky..... | 20 |
| 2.3. Respirátory | 20 |
| 2.4. Posouzení filtračních materiálů..... | 22 |
| 3. Filtrační mechanismy obličejových masek | 26 |
| 3.1. Vliv různých parametrů na filtraci | 27 |
| 4. Materiál a struktura obličejových masek..... | 28 |
| 4.1. Způsoby výroby filtračních materiálů | 28 |
| 4.1.1. Klasifikace netkaných filtračních mechanismů..... | 29 |
| 4.2. Technologie výroby netkaných textilií..... | 30 |
| 4.3. Struktura obličejových masek | 32 |
| Experimentální část..... | 35 |
| 5. Analyzátor zbytkového aerosolu pro testování textilií..... | 35 |
| 5.2. Testování textilních materiálů..... | 39 |
| 6. „Model virů“ - kasein | 46 |

| | |
|---|----|
| 6.1. Detekce kaseinu na textilií | 47 |
| 6.2. Barvení kaseinu | 48 |
| 6.3. Testování textilních materiálů s virům podobnými částicemi | 49 |
| 7. Metoda detekce virům podobných částic | 53 |
| 8. Výsledky a diskuze | 56 |
| Závěr | 58 |
| Seznam použité literatury | 59 |
| Seznam obrázků | 64 |
| Seznam tabulek | 65 |
| Seznam příloh | 65 |

Seznam symbolů a zkratek

| | |
|-------------------|--|
| ASTM | American Society for Testing and Materials |
| CE | Evropské společenství |
| cm | centimetr |
| cm ² | centimetr čtvereční |
| dm ³ | decimetr krychlový |
| DNA | ribonukleová kyselina |
| dsDNA | dvouvláknová ribonukleová kyselina |
| dsDNA-RT | dvouvláknová ribonukleová kyselina s reverzní transkriptázou |
| dsRNA | dvouvláknová deoxyribonukleová kyselina |
| FFP | Filtering Face Piece |
| g | gram |
| g/m ² | gram na metr čtvereční |
| H ₂ O | voda |
| l | litr |
| l/min | litr za minutu |
| min | minuta |
| mg/m ³ | miligram na metr krychlový |
| ml | mililitr |
| NaCl | chlorid sodný |
| nm | nanometr |
| Pa | Pascal |
| pH | vodíkový exponent |
| POP | polypropylen |
| RNA | deoxyribonukleová kyselina |
| ssDNA | jednovláknová ribonukleová kyselina |
| ssRNA | jednovláknová deoxyribonukleová kyselina |
| ssRNA-RT | jednovláknová deoxyribonukleová kyselina s reverzní transkriptázou |
| α | alfa |
| β | beta |

| | |
|--------------------|---------------|
| μm | mikrometr |
| % | procento |
| $^{\circ}\text{C}$ | stupně Celsia |

Úvod

Zavedení krytí úst a nosu pomocí obličejové masky lze vysledovat až do 20. století. Obličejové masky byly využívány především k ochraně před respiračním onemocněním v průmyslovém a zdravotnickém odvětví. V poslední době se obličejové masky staly součástí běžné populace jako prevence ke snížení rizika infekčních onemocnění. Masky představují jednoduchou ochrannou bariéru před šířením onemocnění vzduchem ve formě kapiček či aerosolových částic.

Od vypuknutí globální epidemie se používání obličejových masek stalo všudypřítomným po celém světě a stalo se důležitým zdravotním opatřením nebo lze říci, že se stalo novým normálem po pandemii COVID-19. Cílem diplomové práce je nalezení vhodného „modelu virů“ ve vodných kapénkách a jejich detekce. A následné otestování vybraných textilních vzorků na průnik „modelu virů“ z aerosolu.

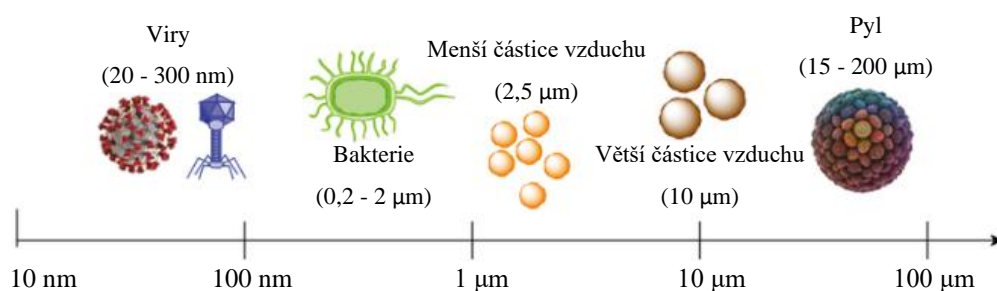
Teoretická část práce se zaměřuje na popis virových částic z hlediska jejich chemického složení, morfologie, reprodukovatelnosti, klasifikaci a přenosu. Následně jsou uvedeny bariérové ochrany proti virům, jejich účel použití a posouzení filtračních materiálů. Dále pak filtrační mechanismy, materiál a struktura obličejových masek.

V experimentální část práce je popsáno využití přístroje Analyzátor zbytkového aerosolu, na němž se testují bariérové vlastnosti textilií. Dále pak nalezení kaseinu jako virům podobné částice. Vytvoření metody obarvení kaseinu pro lepší vizuální hodnocení v dalších experimentech. Navržení metody detekce virům podobných částic.

Teoretická část

1. Viry

Viry jsou nejjednodušší a nejmenší formy života na Zemi. Jde o parazity, které se nemůžou reprodukovat sami o sobě, ale jsou závislé na buňkách jiných organismů. Viry se liší svou morfologií, velikostí genomu, částicemi a mechanickou replikací. Infekční částice viru se nazývá virion, pomocí níž se virus šíří z jedné buňky do druhé a z jednoho organismu do druhého. Částice jsou velmi malé v průměru mezi 20 a 300 nanometry. Celá infekční virová částice se skládá z nukleové kyseliny a vnějšího proteinového obalu. [1]



Obrázek 1 Škála porovnání velikosti virů s dalšími částicemi [30]

1.1. Chemické složení virů

Viry se odlišují od všech ostatních forem života svým jednoduchým chemickým složením, jenž se skládá z genomu zahrnující jednu nebo několik molekul DNA nebo RNA, malý počet proteinů, které tvoří kapsidu nebo jsou přítomny ve virionu jako enzymy. V případě obalených virů je součástí lipidová dvouvrstva s připojenými glykoproteinovými peploméry a někdy i matricovým proteinem. [6]

Virový genom

Viry mohou obsahovat pouze jeden druh nukleové kyseliny. Může to být ribonukleová kyselina (RNA) nebo deoxyribonukleová kyselina (DNA). Všechny virové genomy jsou haploidní, tj. obsahují pouze jednu kopii každého genu. Výjimkou jsou retroviry, které jsou diploidní. Genom DNA virů se skládá z jedné molekuly, která může být jednořetězcová i dvouřetězcová, lineární i kruhová. Genom RNA virů se vyskytuje jako jeden segment nebo může být rozdělen na dva nebo více samostatných segmentů. Všechny virové RNA mohou být jednořetězcové nebo dvouřetězcové, avšak pouze lineární. [1], [6]

Jednořetězcová virová nukleová kyselina, kterou je obecně RNA, lze také definovat podle její polaritě. Když je polarita pozitivní (+) může fungovat jako messenger RNA (mRNA) pro přímou syntézu virového proteinu (translace). Pokud je naopak polarita záporná (-) nemůže fungovat jako mRNA. V těchto případech virion využívá enzym nazývaný RNA polymeráza (transkripce), který ji nejprve převede z negativního na pozitivní, než může dojít k syntéze virového proteinu. [4], [6]

Virové proteiny

Většina proteinů je součástí virionu, které se podílí na jeho stavbě a ochraně genomu. Tyto proteiny se nazývají strukturální. U neobalených virů zodpovídají za přilnutí virionu k povrchu hostitelské buňky. Dále pak mohou být proteiny nestrukturální, které tvoří enzymy či proteiny plnící regulační funkci. Je předpokládán jeden nebo více enzymů, z nichž většina se podílí na transkripci nukleových kyselin. Patří sem různé typy transkriptáz, které přepisují virové genomy z dsDNA, dsRNA nebo genomy virů se záporným ssRNA do mRNA. [6]

Obalové lipidy viru a virové glykoproteiny

Součástí obalených virů jsou lipidy. Obal získává z membrány hostitelské buňky, která vytváří lipidovou dvouvrstvu chránící virion před poškozením. V důsledku toho se složení lipidů konkrétních virů liší podle složení membránových lipidů buněk, ve kterých se replikovaly. Vnitřní strana lipidové dvouvrstvy je tvořena specifickým M-proteinem, který spojuje obal k nukleokapsidě. Důležitou součástí obalených virů jsou glykoproteiny, které tvoří peploměry na povrchu obalu. Vyskytují se jako výběžky upevněné v M-proteinu nebo spočívají svými hydrofobními konci v lipidové membráně. [4], [6], [7]

1.2. Morfologie virů

Genom nukleové kyseliny

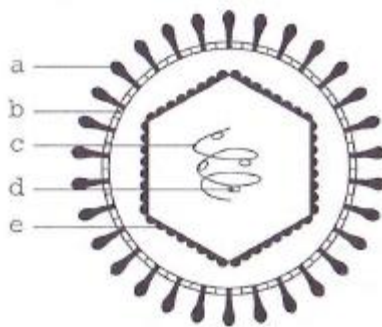
Virové částice se skládají z jádra obsahující genomy nukleové kyseliny, které mohou být pouze jednoho typu, a to DNA nebo RNA. Genomy mohou být jednořetězcové či dvouřetězcové, kruhové i lineární. DNA viry se většinou reprodukují v hostitelské buňce, kdežto RNA viry volně v cytoplazmě. Nejjednodušší známé viry mají v průměru 20 nanometrů a jejich genomy obsahují méně než 2000 nukleotidů a kódují 2 proteiny. Složitější viry mají v průměru 500 nanometrů a jejich genomy obsahují až 1,2 milionu nukleotidů a kódují více než 1 200 proteinů. [1]

Kapsida

Virový genom obklopuje proteinový obal nazývaný kapsida. Skládá se z jedné nebo několika různých proteinových podjednotek nazývaných kapsomery. Kapsidové proteiny jsou kódovány genomem viru. Kvůli omezené velikosti genom kóduje pouze několik strukturních proteinů. Kapsomery se samy sestavují, aby vytvořily spojitou trojrozměrnou strukturu kapsidy. Vyznačují se tedy symetrickým uspořádáním. Zpravidla se jedná o symetrii spirální, kubickou nebo komplexní. Hlavní funkce obalu je ochranná, neboť izoluje materiál genomu od fyzikálních a chemických látek. Pokud je genom nukleové kyseliny zabalen do kapsidy, struktura se nazývá nukleokapsid. [2], [4], [7]

Membránový obal

V některých případech je nukleokapsid obklopen dvouvrstvou lipidovou membránou. Tato membrána je získávána tzv. pučením skrz cytoplazmatickou membránu hostitelských buněk. Lipidová dvouvrstva poskytuje bariéru propustnosti a chrání tak virový genom před okolním prostředím. Obalené viriony jsou pružnější a mohou být různě tvarovány než viriony neobalené. Membrána také obsahuje virové glykoproteiny, pomocí nichž se virion může vázat na specifické receptory buněk. Glykoproteiny netvoří tak dokonale těsnou bariéru a nejsou uspořádány symetricky jako v kapsidě. [1]



Obrázek 2 Schéma uspořádání virové částice: a - peplomy, b – membránový obal, c – molekula nukleové kyseliny, d – enzymy, e – kapsida [7]

1.3. Symetrie kapsidy

Viry mají širokou škálu tvarů a velikostí. Mezi tvarem a symetrií kapsidu je důležitý rozdíl. Tvar odkazuje na geometrii jeho obrysu (sférický, tyčinkovitý apod.), zatímco symetrie odkazuje na rotační a pohybové operace. Virové částice se shromažďují ze svých proteinových podjednotek a genomů nukleových kyselin. Informace, které určují jejich trojrozměrné

struktury, jsou zabudovány do způsobu, jakým se jejich proteinové podjednotky vážou na sebe a na zabalenou RNA nebo DNA. [1]

Spirální (helikoidální) symetrie

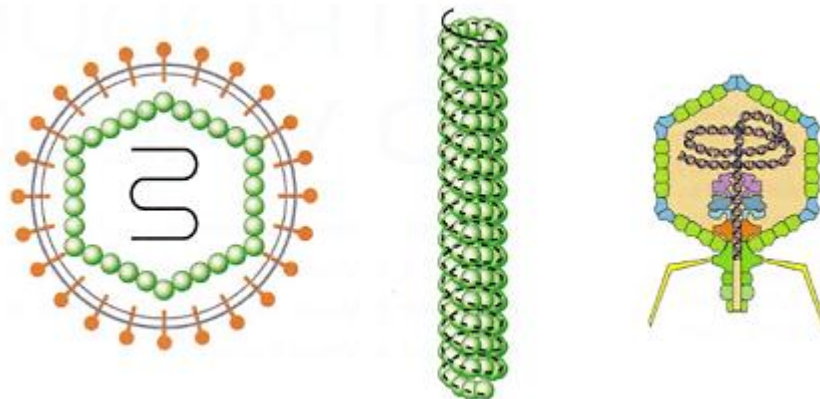
Při spirálové symetrii se identické proteinové podjednotky samy shromažďují do spirálovité struktury obklopující nukleovou kyselinu. Takové to uspořádání virionů tvoří krátké a pevné tyčinky nebo dlouhá a pružná vlákna. Celková délka spirálovité kapsidy souvisí s délkou nukleové kyseliny v ní obsažené a průměr závisí na velikosti a uspořádání kapsomerů. Typickým příkladem tyčinkovité kapsidy je virus tabákové mozaiky. [4]

Kubická (ikosaedrální) symetrie

Kapsidy mnoha virů jsou konstruovány jako obaly s ikosaedrální symetrií. Iksaedron je založen na dvaceti stejných plochách, z nichž každý má tvar rovnostranného trojúhelníku. Celkem je konstruována ze tří identických kapsidových proteinových jednotek, což činí šedesát podjednotek na kapsidu. Na každém z dvanácti vrcholů se pět podjednotek dotýká symetricky. [2], [4]

Komplexní symetrie

Viry jejichž kapsidy nelze zařadit ke spirální ani k ikosaedrální symetrii. Mají složitější stavbu. Patří sem například bičíkatý bakteriofág, který je tvořen z hlavičky podle ikosaedrální symetrie a bičíku podle spirální symetrie. [1]



Obrázek 3 Základní typy kapsid: 1 – kubická symetrie, 2 – spirální symetrie, 3 – komplexní symetrie [1]

1.4. Reprodukční cyklus virů

Reprodukční cykly se velmi liší, neboť každý virus má svůj vlastní infekční cyklus. Závisí na hostitelské buňce, typu genomu a složitosti viru. Mohou se replikovat pouze v živých buňkách, neboť virům chybí základní prvky požadované na růst a replikaci:

- Enzymové systémy, které produkují nukleotidy, aminokyseliny, sacharidy a lipidy
- Enzymové systémy, které generují využitelnou chemickou energii fotosyntézou nebo metabolismem cukrů
- Ribozomy, přenosové RNA a enzymy používané při syntéze proteinů
- Membrány, které lokalizují a koncentrují buněčné makromolekuly, malé molekuly a ionty [1]

Obecný průběh replikace virů:

1. Adsorpce a připojení virové částice k hostitelské buňce
 - Vir nejprve musí rozpoznat a vázat se na hostitelskou buňku. Virové proteiny na povrchu virionu se vážou na sacharidy, proteiny nebo lipidy na povrchu buňky. Viry jsou závislé na specifických receptorech buněk, neboť umožní kontakt viru s buňkou. Viry infikují pouze buňky s příslušným receptorem, proto určitá virová onemocnění vždy napadají stejné tkáně.
2. Pronikání virionu přes buněčnou stěnu a buněčnou membránu
 - Obalené viry fúzí plazmatickou membránou hostitelské buňky. Proniká jen nukleokapsid. Neobalené viry jdou přímo přes plazmatickou membránu hostitelské buňky. Viry přimějí buňky k endocytóze.
3. Uvolnění virového genu
 - Po proniknutí virionu do buňky dochází k rozložení kapsidy a zůstane pouze genom.
4. Replikace virového genomu
 - Nejdříve dochází k přepisu genů časných virových proteinů, které podporují replikaci virového genomu. Zároveň pak umožňují přepis genů pozdních virových proteinů.
 - U většiny virů dvouřetězcových RNA musí být nejprve nastartován enzym, který je obsažen ve virionu. U virů typu DNA a jednořetězcový RNA typu

m-RNA nejsou potřeba žádné pomocné enzymy, jelikož využívá polymerázy hostitelské buňky.

5. Zrání virionů

- V cytoplazmě se samovolně sestaví nové viriony.

6. Uvolnění virových částic

- Nové viriony pak opouští hostitelskou buňku a napadají nové buňky.
- Během této fáze, před opuštěním buňky, viry ještě získají membránový obal z cytoplazmatické membrány, jaderné membrány nebo membránou endoplazmatického retikula hostitelské buňky. [1], [3], [20]

1.5. Klasifikace virů

Viry jsou klasifikovány na základě chemického složení, morfologie, způsobu replikace, interakce s hostitelskými buňkami a typu nemoci, které způsobují. Na základě sdílených vlastností jsou viry seskupeny do kmenů, tříd, řádů, rodů a druhů. Viry infikují celou řadu živých organismů, které se dají rozdělit do kategorií, a to bakterie, archea, eukaryota (houby, řasy), rostliny, bezobratlí, obratlovci. Viry infikují organismy pouze v jedné z kategorií. Avšak některé rodiny virů mohou infikovat dva a více organismů z uvedených kategorií. [1], [4]

Klasifikace ICTV

Pro klasifikaci virů byl v roce 1966 založen Mezinárodní výbor pro taxonomii virů (ICTV). Cílem bylo kategorizovat množství známých virů do jednoho klasifikačního schématu. Vyvinout univerzální taxonomické schéma pro všechny viry infikující zvířata, rostliny, houby, bakterie a archea. Od roku 2020 bylo určeno 6 říší, 10 království, 17 kmenů, 2 podkmenů, 39 tříd, 59 řádů, 8 podřádů, 189 rodin, 136 podrodin, 2224 rodů, 70 podrodů, 9110 druhů. [5]

Baltimorova klasifikace

V roce 1971 vytvořil virolog David Baltimore Baltimorskou klasifikaci. Na základě tohoto systému lze všechny viry rozdělit do sedmi skupin značenými římskými číslicemi podle jejich způsobu syntézy mRNA. Klasifikační systém umísťuje viry do jedné ze sedmi skupin podle jejich nukleonových kyselin (DNA nebo RNA), řetězovosti (jednořetězcové nebo dvouřetězcové) a způsobu replikace. [1] Viry lze umístit do jedné z těchto skupin:

- Skupina I.: Dvouřetězcové DNA viry (dsDNA)
- Skupina II.: Jednořetězcové DNA viry (ssDNA)

- Skupina III.: Dvouřetězcové RNA viry (dsRNA)
- Skupina IV.: Pozitivní jednořetězcové RNA viry (ssRNA +)
- Skupina V.: Negativní jednořetězcové RNA viry (dsRNA -)
- Skupina VI.: Jednořetězcové RNA viry s DNA meziproduktem v životním cyklu (ssRNA-RT)
- Skupina VII.: Dvouřetězcové DNA viry s RNA meziproduktem v životním cyklu (dsDNA-RT) [1], [2]

1.6. Přenos virů

Viry mohou být přenášeny dvěma způsoby. První způsob je prostřednictvím přímého kontaktu. Což znamená, že nakažená osoba může přenášet vir na osobu v blízkém kontaktu. Primárně jsou přenášeny tekutými částicemi (tj. kapičkami a aerosoly), které se tvoří v dýchacích cestách a vylučují se z úst při dýchání, mluvení, kašláním a kýchním. Kapičky se pak mohou dostat přímo na sliznici (oči, rty a nos) osoby nebo na kůži a oděv a následně být přeneseny rukama na sliznici. Velikost kapiček při kašli se pohybuje od 0,6 do 16 μm , ale protože se jedná o kapalinu, kapičky mohou mít jakýkoli tvar, čímž je umožněn průnik přes porézní hydrofobní materiály.[8], [9], [20]

Druhým způsobem je kontakt s kontaminovanými předměty, které byly kontaminované stejným způsobem, a to kašláním či kýchním. Kapičky na povrchu předmětů mohou přetrvávat hodiny až několik dnů. Během toho se mohou osoby dotknout těchto kontaminovaných předmětů holými rukama a poté se nevědomě dotknout úst, nosu či očí, které mohou způsobit u osob infekci. Během přenosu nemoci se velikost částic infekčních kapiček značně liší. Mohou být velké od několika nanometrů po stovky mikrometrů [9], [10], [11]

Po opuštění hostitele se velké kapičky vznášejí ve vzduchu a usazují se na povrchu předmětů, kde se životní prostředí náhle mění a viry se postupem času stávají méně aktivními nebo dokonce inaktivovanými. Stabilita viru na površích značně závisí na složení infikovaného materiálu. Například inaktivace < 3 hodiny na tiskařském papíru, za < 2 dny na dřevu a oblečení, za < 4 dny na sklu a bankovkách a za < 7 dní na nerez a plastu. Naopak aktivní viry mohou zůstat na vnější vrstvě obličejové masky i po 7 dnech. [10], [20]

2. Bariérová ochrana proti virům

Obecně platí, že jakýkoli druh obličejové masky může do určité míry zabránit nebo zpomalit šíření kapének respiračních sekretů. Obličejové masky lze rozdělit do tří kategorií:

- Zdravotnické roušky
- Respirátory
- Látkové roušky [13]

Každá obličejová maska musí být používána podle pokynů výrobce, které mohou zahrnovat správný způsob nošení, maximální počet hodin používání nebo vhodný postup dezinfekce u opakovaně použitelných. V důsledku nevhodné velikosti, nesprávného nošení a dalších faktorů není dosaženo úplného utěsnění mezi obličejem osoby a obličejovou maskou. To má za následek ke snížení ochrany spojené s nošením obličejové masky nebo respirátoru. [18]

2.1. Účel použití obličejových masek

Je důležité rozlišovat respirátory a zdravotnické roušky, které se liší svým účelem použití. Respirátory též filtrační polomasky jsou určeny k ochraně nosu a úst uživatele před částicemi v okolí, tedy průniku částic zvenku dovnitř. U respirátorů je potřebné, aby přiléhaly těsně k obličejí. Kdežto zdravotnické roušky též zdravotnické obličejové masky slouží k ochraně před šířením částic od uživatele do okolí, tedy průniku částic zevnitř ven. Oproti respirátorům nejsou zdravotnické roušky vytvořeny tak, že nepřiléhají těsně k obličejí. Tudíž může okolo úst a nosu proudit vzduch a snižovat tak filtrační účinnost. Od určeného účelu použití dále také závisí na použitém materiálu a designu. [12], [13]

Vedle respirátorů a zdravotnických roušek je nutné uvést, že existují ještě látkové roušky. Do této skupiny se řadí různé podoby podomácku vytvořených roušek nebo komerčních roušek vytvořených z různých textilních materiálů. Tento typ roušek není nijak standardizovaný ani regulovaný žádnou vládní agenturou. Nejsou doporučeny pro zdravotnické pracovníky nebo ve zdravotnických zařízeních. Tento typ roušek může být použit jako prevence před šířením onemocnění respirační cestou, ale neměly by se používat jako náhrada za respirátory nebo zdravotnické roušky. Bylo zjištěno, že látkové roušky mají velmi nízkou filtrační účinnost pohybující se v rozmezí 2 až 38 %. Je třeba poznamenat, že účinnost se značně liší podle materiálu, struktury a počtu vrstev. [12], [13]

2.2. Zdravotnické roušky

V Evropě musí požadavky na zdravotnické roušky a testovací metody odpovídat evropské normě EN 14683:2019+AC:2020 Zdravotnické obličejové masky - Požadavky a metody zkoušení. Roušky jsou pak rozděleny do čtyř tříd, a to I, IR, II a IIR. Roušky jsou vedeny jako zdravotnické prostředky, ale o zdravotnické roušky jde pouze tehdy, pokud splňuje označení IIR. Římská číslice označuje funkčnost, čím vyšší číslo (I nebo II), tím vyšší funkčnost roušky. Písmeno R znamená ochranu proti průniku tělních tekutin. Zdravotnické roušky by pak měly být označeny značkou CE. [12], [14]

Ve Spojených státech jsou zdravotnické roušky standardizovány Americkou společností pro testování a materiály (ASTM - American Society for Testing and Materials). Roušky jsou rozděleny do tří kategorií 1, 2 a 3. Úroveň 1 poskytuje nejmenší ochranu, úroveň 2 poskytuje střední ochranu a úroveň 3 představuje maximální ochranu. Roušky jsou testovány podle účinnosti filtrace částic, účinnosti filtrace bakterií, odolnosti vůči tekutinám, prodyšnost a hořlavost. [12], [15]

2.3. Respirátory

Technické normy určují důležité parametry, které musí respirátory splňovat. Tyto standardy se mohou celosvětově lišit. Z toho důvodu je možné se setkat s různým označením a odlišným stupněm ochrany v souvislosti s původem produktu (EU, Čína, USA). [13], [16]

Evropský standard

V Evropské unii jsou technické požadavky respirátorů posuzovány normou EN 149:2001+A1:2009 Ochranné prostředky dýchacích orgánů – Filtrační polomasky k ochraně proti částicím – Požadavky, zkoušení a značení. Respirátory podle této normy jsou navrženy k ochraně před pevnými částicemi a zároveň i před kapalnými aerosoly. [13]

Respirátory jsou rozděleny do tří ochranných tříd FFP1, FFP2 a FFP3, a to v závislosti na účinnosti ochrany, kterou poskytují. Zkratka FFP znamená „Filtering Face Piece“. Účinnost filtrace částic je měřítkem toho, jak dobře je respirátor schopen zachytit částice v určitém rozsahu velikostí. Nejnižší stupeň ochrany poskytuje respirátor třídy FFP1, jehož průnik materiálem je nižší než 20 %, a tedy filtruje alespoň 80 %. Respirátor třídy FFP2 má průnik materiálem 6 % a filtruje tak nejméně 94 %. Nejvyšší stupeň ochrany poskytuje respirátor třídy FFP3, jehož průnik materiálem je do 1 % a dává tak 99 % ochranu. [12], [13]

Respirátor je označen značkou CE, příslušnou normou (EN 149:2001+A1:2009) a třídou ochrany (FFP1, FFP2 a FFP3). Dále se pak jednorázové respirátory značí písmeny NR a respirátory pro opakované použití se značí písmenem R. [13]

Čínský standard

V Číně jsou pak posuzovány podle normy GB 19083-2010 Technické požadavky na ochranné masky pro zdravotnické použití a GB 2626-2006 Ochranné prostředky dýchacích orgánů – respirátory na čištění vzduchu bez napájení, přitom první norma je navržena pro oblast zdravotnictví a druhá norma pro oblast průmyslu. [13]

Dle normy GB 2626-2006 se rozlišují dva typy respirátorů, a to s filtrem typu KN a KP. Respirátor s filtrem typu KN filtruje pouze neolejové částice, kdež to filtr typu KP filtruje i olejové částice. Za označením filtru se dále doplňuje číslo značící procento filtrace. Respirátor typu KN95 tedy filtruje nejméně 95 %. Respirátor typu KN100 / KP100 má účinnost minimálně 99,97 %. Nicméně tato norma je primárně používána v oblasti průmyslu. [13]

Norma GB 19083-2010 navržena pro splnění požadavků v oblasti zdravotnictví. Avšak z hlediska technických požadavků se v mnohém neliší od normy GB 2626-2006. Nicméně se nerozlišuje mezi typy filtrace KN a KP. Dle této normy se rozlišují tři stupně účinnosti 1, 2 a 3. Nejnižší stupeň 1 poskytuje účinnost nejméně 95 %. Stupeň 2 filtruje nejméně 99 %. Nejvyšší účinnost poskytuje stupeň 3 poskytující minimálně 99,97 % a odpovídá tedy respirátoru typu KN100. [13]

Americké standardy

Podle amerického NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) jsou dle certifikace 42 CFR 84 rozlišovány standardy mezi typy filtrů N, R a P. Tyto standardy rozlišují, zda jsou odolné vůči olejovým částicím a na jak dlouho. Respirátor typu N není odolný vůči olejovým částicím. Respirátor typu R je odolný vůči olejovým částicím po dobu osmi hodin. Respirátor typu P je značně odolný vůči olejovým částicím. Za označením typu filtru je dále doplněno číslo značící procento účinnosti. Dle certifikace 42 CFR 84 tak existuje několik typů respirátorů (N95, N99, N100, R95, R99, R100, P95, P99 a P100). Účinnost filtrace je podobná jako u respirátorů dle normy GB 2626-2006, tedy respirátor N95 se podobá respirátoru KN95. [12], [13], [17]

Tabulka 1 Technické parametry k jednotlivým typům respirátorů dle norem [13]

| | EN 149+A1 FFP1 | EN 149+A1 FFP2 | EN 149+A1 FFP3 | GB 2626- 2006 KN95 | GB 19083 Stupeň 1 | GB 19083 Stupeň 2 | GB 19083 Stupeň 3 |
|----------------------|---|---|--|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Účinnost filtrace | ≥ 80 % | ≥ 94 % | ≥ 99 % | ≥ 95 % | ≥ 95 % | ≥ 99 % | ≥ 99,97 % |
| Průtok | 95 l | 95 l | 95 l | 85 l | 85 l | 85 l | 85 l |
| Celkový průnik | ≤ 22 % | ≤ 8 % | ≤ 2 % | ≤ 8 % | ≤ 22 % | ≤ 8 % | ≤ 2 % |
| Vdechovací odpor | ≤ 60 Pa při 30 l/min ≤ 210 Pa při 95 l/min | ≤ 70 Pa při 30 l/min ≤ 240 Pa při 95 l/min | ≤ 100 Pa při 30 l/min ≤ 300 Pa při 95 l/min | ≤ 350 Pa při 85 l/min | ≤ 343,2 Pa při 85 l/min | ≤ 343,2 Pa při 85 l/min | ≤ 343,2 Pa při 85 l/min |
| Vydechovací odpor | ≤ 300 Pa při 160 l/min | ≤ 300 Pa při 160 l/min | ≤ 300 Pa při 160 l/min | ≤ 250 Pa při 160 l/min | ≤ 300 Pa při 160 l/min | ≤ 300 Pa při 160 l/min | ≤ 300 Pa při 160 l/min |

2.4. Posouzení filtračních materiálů

V Evropské unii je nyní platná norma EN 149:2001+A1:2009. Tato norma představuje objemný dokument, který popisuje soubor měřících metod. Mezi nejdůležitější metody určující účinnost ochrany před aerosolovými částicemi patří:

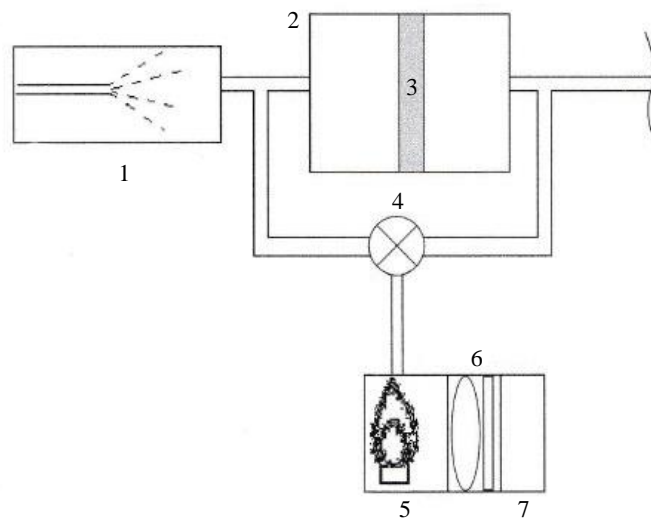
- Metoda hodnocení průniku zkušební aerosolu
- Metoda hodnocení odporu při dýchání
- Metoda měření absorpce prachu
- Metoda hodnocení celkové vnitřní těsnosti [21]

Průnik zkušební aerosolu

Metoda průniku aerosolových částic přes filtrační materiál se měří poměrem koncentrace aerosolových částic před a po průchodu filtrem. K hodnocení se používá chlorid sodný představující aerosol s dispergovanou pevnou fází. Pro hodnocení účinnosti filtrace aerosolů

s rozptýlenou tekutou fází se využívá test olejovou mlhou, při kterém je použit parafinový olej. Pro posouzení průniku testovaného aerosolu se využívá forma dispergovaného média se známou velikostí částic. Aerosol částic chloridu sodného má průměr částic 0,6 μm . Aerosol kapiček parafinového oleje má průměr částic 0,4 μm . [21]

Princip průnikové metody aerosolu chloridu sodného spočívá v průchodu aerosolu vodíkovým plamenem před a po jeho průtoku filtrem. Při průchodu plamenem se částice chloridu sodného ve vzduchu odpařují, čímž vzniká emise sodíku při 589 nm. Přes testovaný filtr je nasáván aerosol rychlostí 95 l/min. Měření průniku aerosolu dispergovanou tekutou fází je založen na zahřátí parafinového oleje na 100°C. Přes testovaný filtr pak prochází olejová mlha, která se částečně usazuje na vláknech. Princip je založen na odhadu koncentraci kapek oleje ve vzduchu před a za filtrem, jenž je hodnocen zářením laserového světla fotocitlivým prvkem. I zde je aerosol veden přes filtr rychlostí 95 l/min. Výsledkem zkoušky je procento prošlého aerosolu skrze filtr, ve vztahu k celkovému množství částic přiváděných k testovanému vzorku, čímž je přiřazen filtrační materiál do jednotlivých tříd. [21]

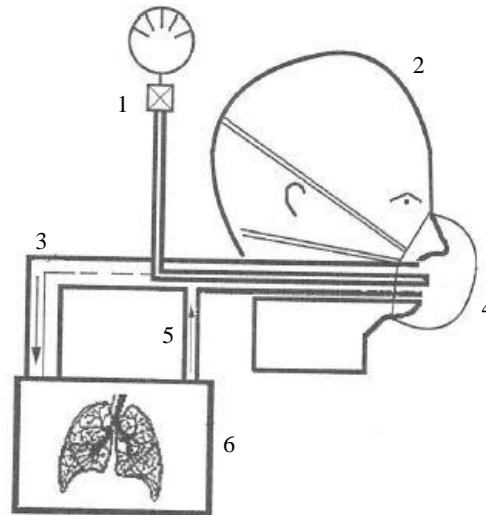


Obrázek 4 Schéma měřícího stojanu pro posouzení průniku s použitím chloridu sodného: 1) generátor aerosolu 2) měřící komora 3) filtrační materiál 4) ventil 5) vodíkový hořák 6) optické filtry 7) detektor [21]

Odpor při dýchání

Dýchací odpor je odpor, jenž je způsoben prouděním vzduchu dýchacími ochrannými prostředky. Dýchací odpor je parametr, který představuje schopnost uživatele správně dýchat při použití filtračního materiálu. Metoda měření je založena na průchodu vzduchu testovaným vzorkem při pokojové teplotě, atmosférickém tlaku a vlhkosti, při které nedochází

ke kondenzaci. Vzduch prochází filtrem rychlostí 30 a 95 l/min. Tyto průtoky vzduchu odpovídají minutové plicní ventilaci při lehkém a těžkém zatížení uživatele. Pro test se využívá zařízení zvané Sheffieldova hlava. Filtrační materiály jsou pak rozděleny do tříd. [21]



Obrázek 5 Schéma Sheffieldovi hlavy: 1) manometr 2) model hlavy 3) kanál do umělých plic 4) měření tlaku 5) kanál z umělé plíce 6) umělá plíce [21]

Absorpce prachu

Absorpci prachu určuje odpor proudění vzduchu skrze filtrační materiál po přidání 1,5 g prachu o přesně definované velikosti částic. Rozdělení filtračních materiálů do tříd závisí na stanoveném dýchacím odporu, který by po přidání prachu neměl být překročen. Při měření se využívá zařízení, které se skládá ze čtyř základních modulů. Prvním modulem je podavač prachu, jehož cílem je dodat přiměřené množství prachu za daný čas do komory. Druhým modulem je systém, který nepřetržitě přivádí proud vzduchu přes prachovou komoru rychlostí 95 l/min. Třetí modul je držák sloužící k upevnění testovaného materiálu a jeho spojení se zařízením pro měření ztráty tlaku v důsledku proudění vzduchu. Čtvrtý modul je systém pro měření parametrů proudění vzduchu. Zkoušky jsou prováděny se vzduchem o teplotě $23 \pm 2^\circ\text{C}$ a relativní vlhkosti $45 \pm 15\%$. [21]

Celková vnitřní těsnost

Mezi důležité měřítko výkonu filtračního materiálu patří celková vnitřní těsnost. Testovaný materiál je testován za podmínek reálného použití. Zkouška je založena na tom, že člověk s upevněnou filtrační maskou na obličeji chodí na běžeckém páse umístěným v měřicí komoře,

kde proudí aerosol chloridu sodného. Vzduch je odebírán zpod lícní části masky s cílem vyhodnotit množství aerosolu chloridu sodného prošlého filtračním materiálem. Průměrná koncentrace chloridu sodného dodávaného do měřicí komory by se měla pohybovat v rozmezí $8 \pm 4 \text{ mg/m}^3$. [21]

3. Filtrační mechanismy obličejových masek

Filtrace aerosolových kapiček pomocí obličejových masek závisí na zachycení různými mechanismy, jako je gravitační sedimentace, inerciální impakce, zachycení, difúze a elektrostatická přitažlivost. Kinetika a související mechanismy jsou pevně závislé na typu účinné látky, sestávající z fyzikálních a chemických vlastností, jako je molekulová hmotnost, velikost částic atd. [23], [24]

Pro velké částice v rozmezí velikosti 1 až 10 μm je nejúčinnějším mechanismem zachycení částic mechanická filtrace ve formě gravitační sedimentace a setrvačné impakce. Větší částice mají větší setrvačnost, a proto se pohybují lineárněji a nejsou schopny obtékat vlákna masky. V důsledku toho se přilepí na vlákna a nemohou projít filtrem. Na druhou stranu menší částice těsně sledují proudnice a mohou se vyhnout kontaktu s vlákny prostřednictvím impakce a sedimentace. [12]

Pro malé částice v rozmezí velikosti 0,1 až 1 μm jsou převládajícími mechanickými mechanismy filtrace zachycení a Brownův pohyb. Malé částice do 0,6 μm se pohybují podél proudnic, což vede k jejich zachycení filtračními vlákny, když se pohybují blízko k vláknům. U ještě menších částic, zejména u menších než 0,2 μm , dominuje filtraci Brownův pohyb, protože náhodný pohyb těchto částic vede k jejich kontaktu s vlákny difúzí. Jakmile jsou částice v kontaktu, přilnou k vláknu prostřednictvím Van der Waalsovy přitažlivosti a zůstanou přilepené. [12], [24]

Elektrostatická přitažlivost je metoda, která zachycuje velké i malé částice z proudu vzduchu. Při této metodě se ve filtru zvažují elektricky nabitá vlákna, které absorbují opačně nabitě částice z proudu vzduchu. Filtry využívající elektrostatickou přitažlivost jsou známy jako elektretové filtry. Tato metoda je zvláště důležitá pro zachycení částic o velikosti nanometrů. Teoreticky je elektrostatická přitažlivost nezávislá na velikosti částic. Avšak hybnost větších částic je větší, a proto je dráha velkých částic většinou přímá. Ve srovnání s tím je dráha menších částic mnohem méně lineární a předvídatelná, a proto mají vyšší tendenci být zachyceny elektrostatickou přitažlivostí. [12], [23], [24]

Je třeba poznamenat, že náboje na vláknech nevydrží věčně a pokud je filtr dostatečně zatížen částicemi, jeho elektrostatické síly se časem sníží, a nakonec se zachová jako běžný mechanický filtr. [12]

3.1. Vliv různých parametrů na filtraci

Obličejové masky musí splňovat dvě hlavní vlastnosti - prodyšnost a účinnost. Co se týče účinnosti obličejových masek, existují dvě hlavní hlediska, a to je výkon materiálu při filtraci a přizpůsobení obličejové masky obličejí. [26]

Filtrace se získá nucením vzduchu procházet přes membránu, která má schopnost zadržet částice. Tato membrána je vyrobena z porézního materiálu. Účinnost filtrace částic závisí na typu a síle interakce mezi pevným materiálem v membráně a částicemi, které v ní mají být zadrženy a na faktorech, které mohou tuto možnost zvýšit. Tyto faktory lze rozdělit na faktory vnitřní, tedy týkající se samotné masky, a na faktory vnější. [25], [26]

U samotné masky záleží na materiálu filtru, vlastnostech vláken, počtu vrstev, tvaru obličejové masky (ploché, skládací, vypouklé), přizpůsobení obličejí a délce nošení. Dále pak na vlastnostech pórů, jako je pórovitost a velikost pórů. Pórovitost a průměr vlákna jsou dva parametry, které řídí jak prodyšnost, tak účinnost filtrace částic vláknitého média. Zvýšení pórovitosti vláknitého média zvyšuje prodyšnost a zároveň může snížit účinnost filtrace částic. [19], [26]

Těsnost masky je velmi důležitým faktorem, který souvisí právě s typem, velikostí a výběrem materiálu masky. Malé mezery mezi obličejovou maskou a pokožkou mohou vést k podstatnému snížení celkové účinnosti filtrace. [25]

Co se týče faktorů souvisejících s vnějšími podmínkami, tak je to zatížení, rychlost proudění vzduchu a podmínky proudění, relativní vlhkost a okolní teplota. Dále také závisí na částicích, které mají být zadrženy, jejich velikost, tvar, skupenství (pevná látka nebo kapalina), koncentrace a elektrostatický náboj. Ze všech vnějších podmínek bylo zjištěno, že rychlost proudění vzduchu má nejvýznamnější vliv na účinnost filtrace částic masky. [12], [26]

Účinek rychlosti proudění vzduchu na účinnost filtrace částic může být opačný pro velké a malé částice, protože za tyto částice jsou zodpovědné různé filtrační mechanismy, jak již bylo zmíněno v kapitole 3. U velkých částic by zvýšení rychlosti proudění vzduchu zvýšilo účinnost filtrace v důsledku větších odstředivých a setrvačných sil, které podporují zachycení velkých částic sedimentací a impakcí. U malých částic by snížení rychlosti proudění vzduchu zvýšilo účinnost filtrace, protože existuje více času na elektrostatickou přitažlivost a Brownovu difúzi k zachycení částic. [12]

4. Materiál a struktura obličejových masek

Zdravotnické roušky a respirátory jsou většinu vyrobeny z netkaných vláknitých materiálů. Proces výroby netkaných materiálů je poměrně snadný a levný, proto je užitečný pro masovou výrobu obličejových masek. Mezi nejpoužívanější materiály patří polypropylen a polyakrylonitril z důvodu jejich vysokému elektrickému odporu a stabilitě. Tyto filtrační materiály jsou schopny zachytit relativně velké částice větší než 0,3 μm sedimentací a dopadem a relativně malé částice menší než 0,2 μm difúzí a elektrostatickou přitažlivostí. [12]

Netkané textilie pro obličejové masky se obvykle vyrábějí dvěma technologiemi, a to spun-bond a melt-blown. Vznikají jemná roztavená polymerní vlákna, která se mechanicky, chemicky nebo tepelně spojují dohromady, čímž se vytváří jemná textilie, která má nepravidelně orientovaná vlákna. Výhodou těchto technologií je malý průměr vlákna, velký poměr plochy povrchu k objemu, vysoká pórovitost a dobrá vnitřní konektivita. Díky tomu mají tyto netkané textilie vysokou filtrační účinnost. [12], [29]

U netkané textilie vytvořené technologií spun-bond mají vlákna průměr 15 – 40 μm . Kdežto vlákna vyrobená technologií melt-blown mají průměr 0,5 – 10 μm , jsou tedy mnohem jemnější a velikost pórů netkané textilie může být mnohem menší. Vzhledem k jemnější velikosti pórů je proto melt-blown typickým procesem používaný k výrobě střední filtrační vrstvy. [30]

Relativně velký průměr těchto textilií nestačí k účinnému filtrování částic o velikosti 0,3 μm . V tomto ohledu je zapotřebí elektrostatická úprava pro zlepšení účinnosti filtrace. Během nošení nebo čištění se však statická elektřina snadno ztratí. Obecně se účinnost filtrace tohoto druhu filtru výrazně sníží po dlouhodobém nošení. Účinnost filtrace se zlepšuje se zvýšením tloušťky filtrační vrstvy, obvykle za cenu odporu vzduchu. Pro dosažení ideálního výkonu obličejové masky by vlastnosti masky měly vyvažovat vysokou filtraci, přiměřenou prodyšnost a odolnost proti pronikání tekutin. Mezitím musí maska napříč všemi vrstvami zajistit neomezené dýchání při nádechu a výdechu. [27], [28]

4.1. Způsoby výroby filtračních materiálů

Netkané textilie slouží jako základní materiál pro čištění vzduchu od aerosolových nečistot ve formě pevných nebo kapalných částic. Plní ochrannou funkci dýchacích cest kvůli vysoké účinnosti filtrace spojené s malým odporem proudění vzduchu a velkou objemovou nasákavostí

prachu. Pro úspěšný návrh filtračních systémů je nezbytné mít technologické znalosti ohledně metod výroby netkaných textilií spolu s teoretickými znalosti související s jevy, které určují filtraci. [21]

4.1.1. Klasifikace netkaných filtračních mechanismů

Netkané textilie jsou základním materiálem používaným při filtraci aerosolu. Netkaná textilie je list, splet' nebo rouno z přírodních a/nebo umělých vláken, s výjimkou výrobků spojených některými ze způsobů jako je tkaní, pletení, všívání apod. Netkané textilie lze vyrábět různými technologiemi, ale základním kritériem pro klasifikaci je druh suroviny. Kvůli tomuto kritériu mohou být netkané textilie vyráběny ze staplových vláken nebo přímo z polymeru. Pro všechny netkané textilie vyrobené z vláken je tvorba rouna prvním technologickým procesem. Netkaná textilie složená ze staplových vláken může být vyrobená metodami suchého nebo mokrého kladení. Dále se dají technologie rozdělit dle způsobu spojování vlákenných vrstev. [21]

Základem pro rozdělení technologií výroby netkaných textilií získaných přímo z polymeru je postup zkapalnění polymeru. Polymer ve formě kapaliny lze získat tavením nebo rozpouštěním. Postup tvorby netkané textilie z polymerní kapaliny je dalším rozdělovacím kritériem pro netkané textilie používané při filtraci aerosolu. [21]

Výše popsaná klasifikace netkaných textilií ukazuje širokou škálu možností pro tvorbu struktury vláknitých materiálů a pro modelování jejich vlastností. Kvůli potřebě chránit dýchací cesty před částicemi submikronové velikosti, je potřeba využít vícevrstevných systémů, kterými lze dosáhnout vysoké účinnosti filtrace, nízkého odporu proudění vzduchu a vysoké kapacity absorpce prachu. Struktura a provedení vícevrstevných materiálů závisí na jejich použití. [21]

Filtrační masky se skládají z netkaných filtračních systémů spojených v krajích a vytvarované do tvaru. Často bývá součástí výdechový ventil s cílem zvýšit uživatelský komfort. Netkané vrstvy ve filtračních materiálech plní specifické funkce v závislosti na typu filtru. Nejčastěji se využívá těchto netkaných textilií:

- Netkané textilie vyráběné technikou melt-blown se používají jako základní filtrační vrstva ve filtrech a polomaskách
- Netkané textilie vyráběné papírenskou technikou, jenž se používá jako základ skládané filtrační vrstvy ve filtrech
- Netkaná textilie vyráběné technikou spun-bond využívající se na vnější vrstvy filtračních polomasek, které chrání vnitřní vrstvy před mechanickým poškozením [21]

4.2. Technologie výroby netkaných textilií

Technologie melt-blown

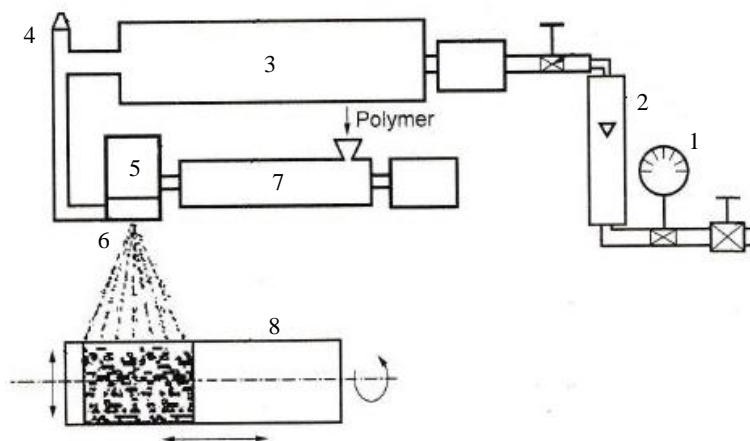
Netkané textilie vyrobené technologií melt-blown patří k základním typům netkaných textilií určených pro filtrační materiály. Tato metoda je založena na vytlačování vláken z trysky, jejich rozfoukání pomocí proudu vzduchu a jejich ukládání po ochlazení na pás, čímž vznikne netkaná textilie z tenkých nespojitých vláken. Vlákná v netkané textilii se vyznačují náhodným uspořádáním. Pro výrobu se nejčastěji využívá polypropylen. Dále se používají polymery jako polyethylentereftalát, polyamid a jeho kopolymery polyethylen, polykarbonáty a polyuretany. [21]

Výroba netkané textilie spočívá v tom, že nejprve roztaví polymer, který je dopraven k hubici s tryskami pomocí extrudéru. K tvorbě vláken dochází v hubici s mnoha otvory a k nim je přiváděn horký vzduch. Vytékající tavenina je pak vzduchem strhávána a formována do tvaru vlákna. Zároveň dochází k jeho ochlazení. Dále pak dochází k formování vlákenné vrstvy na pásu či bubnu a jejich pojení. Na závěr je vrstva ukládána na navíjecí zařízení. [21]

Vlastnosti netkaných textilií vyráběných technologií melt-blown závisí na souboru technologických parametrů, které lze vztáhnout k funkčním komponentům plnící specifické funkce ve výrobním procesu:

- Extrudér – tavení a homogenizace polymeru, řízená doprava k tryskám
- Tryska – ohřev taveniny na požadovanou teplotu, vyfukování vláken
- Ohřívač – ohřívání stlačený vzduch na požadovanou teplotu
- Rotometr a nanometr – měření a regulace výkonu vhněného vzduchu
- Navíjecí zařízení - tvorba netkané textilie s požadovanou plošnou hmotností [21]

Zvýšení teploty taveniny polymeru způsobuje snížení viskozity a zároveň dochází k snazšímu procesu vyfukování taveniny do formy vláken. Podobně tomu tak je i zvýšením výkonu vzduchu, čímž dochází ke zmenšení průměru vláken. Průměr vláken netkané textilie lze měnit v rozsahu 1-20 μm . Zbývající parametry, jako je plošná hmotnost a kompaktnost, jsou řízeny změnou pracovních parametrů navíjecího zařízení. Je možné získat netkané textilie o plošné hmotnosti v rozmezí 5-200 g/m^2 . [21]

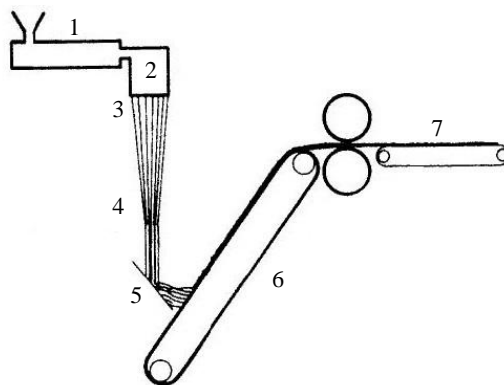


Obrázek 6 Schéma výroby melt-blown: 1) regulační ventil 2) rotametr 3) ohřivač vzduchu 4) regulátor 5) hubice 6) trysky 7) extrudér 8) navíjecí zařízení [21]

Technologie spun-bond

Mezi další základní typy netkaných textilií určených pro filtrační materiály je technologie spun-bond. Metoda je založena na vytlačování vláken z trysky, odtah vláken od hubice a jejich ukládání na dopravník. Pro výrobu se opět nejčastěji využívá polypropylen. Dále se používají polymery jako polyester a polyamid. Průměr vláken v netkané textílii se pohybuje v rozmezí 15–40 μm . [21], [22]

Při výrobě netkané textilie spun-bond je část procesu stejná jako u technologie melt-blown. Tavení a zvlákňování polymeru probíhá podobně jako u výroby vláken z taveniny. Nejprve je tedy roztaven polymer, který je dopraven k hubici s tryskami pomocí extrudéru. K tvorbě vláken dochází v hubici s velkým množstvím otvorů. Vytékající tavenina je odtahována a ukládána v plné šíři na pohybujícím síťovém dopravníku na němž vzniká vlákenná vrstva. [21], [22]

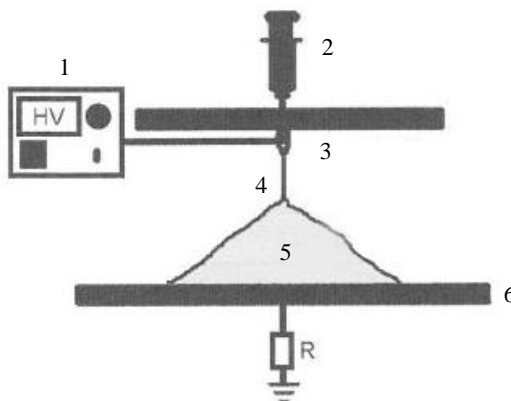


Obrázek 7 Schéma výroby spun-bond: 1) extrudér 2) hubice 3) trysky 4) odtah vláken 5) výkyvná rozmítací destička 6) síťový dopravník 7) vlákenná vrstva [22]

Technologie elektrostatické zvlákňování

Indukce elektrického náboje je dalším mechanismem používaným v technologii filtračních materiálů. Indukce spočívá ve vytváření elektrického náboje ve vodiči umístěném v elektrickém poli. Do této skupiny patří jemná vlákna vyrobená z vodivých roztoků nebo tavenin nabitých při elektrostatickém vytlačování. Vznik nanovláken touto metodou je výsledkem reakce kapky polymerního roztoku vystavené vnějšímu elektrickému poli. Rozsah průměru vláken může být 10 nm až několik mikrometrů. Je možné získat netkané textilie o plošné hmotnosti v rozmezí 5-200 g/m². [21]

Nanovlákná lze vyrobit pomocí zařízení pro techniku elektrostatického zvlákňování. Základní prvky systému tvoří dvě elektrody. Jedna je připojena k jehle pro vytlačování polymeru, což umožňuje kapkám polymeru dosáhnout vhodného elektrického potenciálu. Druhá elektroda je přijímací elektroda, na kterou je aplikován elektrický potenciál polymeru, a na kterou se vlákna ukládají během výrobního procesu. Tyto elektrody mohou mít různé tvary a jsou vzájemně izolovány. Celý systém je od vnějších elektrických polí izolován clonou, která slouží jako Faradayova klec, a kromě toho navíc izoluje proti turbulentnímu vzduchu. Pomocí metody elektrostatického zvlákňování je možné vyrábět vícevrstvé formy filtračních materiálů. [21]



Obrázek 8 Schéma výroby elektrostatického zvlákňování: 1) generátor 2) jehla 3) Taylorův kužel 4) trysková oblast 5) nestabilní oblast 6) spodní elektroda [21]

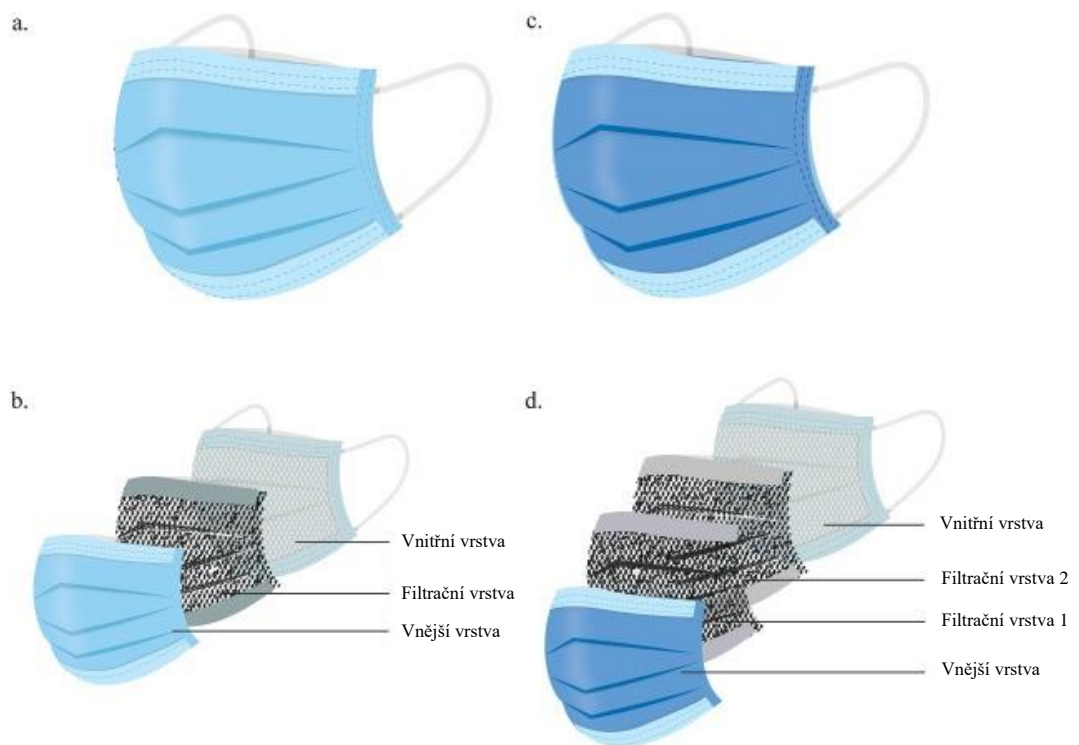
4.3. Struktura obličejových masek

Zdravotnické roušky

Zdravotnická rouška se skládá často ze tří až čtyř vrstev netkaných textilií vyrobených z polypropylenových vláken - vnější vrstva, střední filtrační vrstva a vnitřní vrstva.

Každá z vrstev funguje odlišně. Vnější vrstva je obvykle hydrofobní se značnou odolností vůči tekutinám. Vnitřní vrstva podporuje filtrační vrstvu a absorbuje vlhkost. Tyto dvě vrstvy z netkaných textilií jsou vyrobené technologií spun-bond. Mají malé příspěvky k celkové účinnosti filtrace, ale vykazují vysokou pevnost a dobrou propustnost vzduchu. Střední filtrační vrstva zabraňuje částicím pronikat v obou směrech. Netkaná textilie vyrobená technologií melt-blown, která hraje hlavní roli při filtraci. U čtyř vrstvé obličejové masky je to podobné jako u tří vrstvé obličejové masky s tím rozdílem, že je přidána další vrstva s filtrem s aktivním uhlím nebo ještě jedna filtrační vrstva. [27], [31]

Obličejové roušky jsou skládané a záhyby jsou navrženy tak, aby umožnily nositelům zakrýt obličej od nosu po bradu. K upevnění masky se běžně používají elastické pásky pro uchycení za uši. Tvarovatelný pásek přes nos k přizpůsobení obličej. [28]



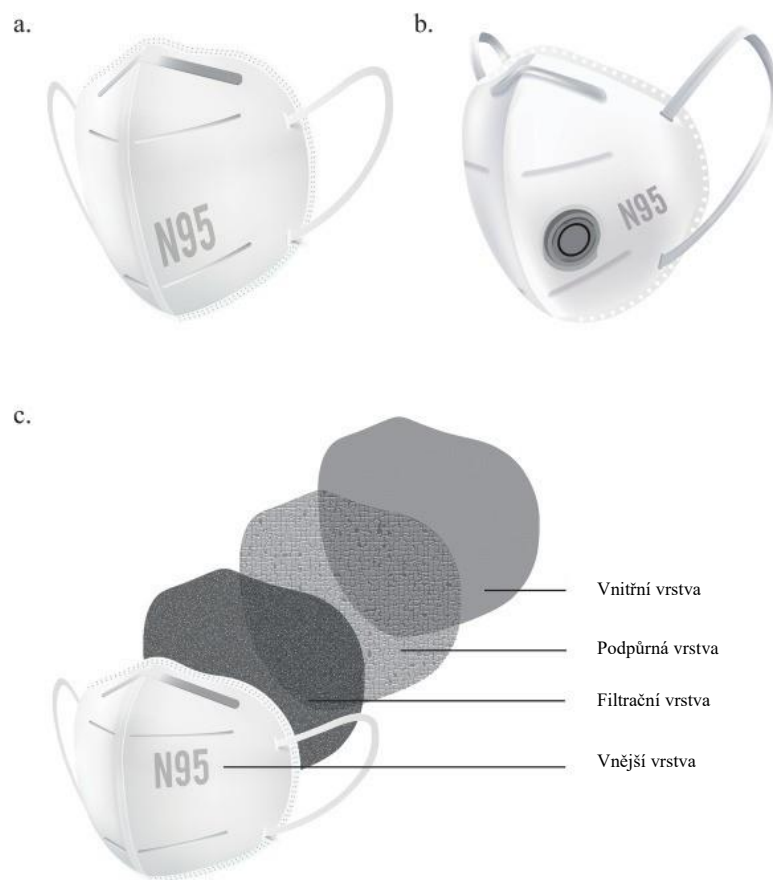
Obrázek 9 Obličejové roušky a jejich vrstvení:
a) tří vrstvá rouška b) vrstvy tří vrstvé roušky c) čtyř vrstvá rouška d) vrstvy čtyř vrstvé roušky [31]

Respirátory

Respirátor se skládá ze čtyř hlavních vrstev netkaných textilií, ale je strukturován složitějším způsobem než u zdravotnické roušky - vnější vrstva, filtrační vrstva, podpurná vrstva, vnitřní vrstva. I zde každá z vrstev má specifickou funkci. Vnější vrstva je obdobně tvořena netkanou textilií spun-bond s hydrofobním polypropylenovým povrchem. Druhá vrstva se skládá

z celulózy a polyesteru, které mohou být modifikovány kladně nabitou mědí a ionty mědi a zinku k přitahování bakterií a virů (se záporně nabitými membránami) elektrostatickou interakcí. Poté je třetí filtrační vrstva zodpovědná za filtraci částic. Netkaná textilie vyrobená technologií melt-blown, která hraje hlavní roli při filtraci. Čtvrtá vrstva, tedy vnitřní vrstva, vyrobena z polypropylenu technologií spun-bond. [24], [28]

Respirátory mohou být skládané s ventilem i bez. Obsahují tvarovatelný pásek na nos pro přizpůsobení obličeje. K upevnění masky se běžně používají elastické pásky pro uchycení za uši nebo za hlavu. [28]



Obrázek 10 Respirátor a jeho vrstvení: a) respirátor bez ventilu b) respirátor s ventilem c) vrstvy respirátoru [31]

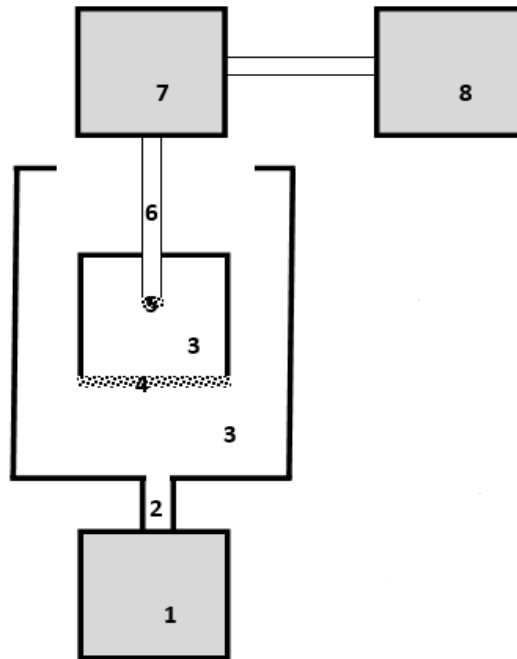
Experimentální část

V rámci experimentální části byly testovány textilní materiály na přístroji Analyzátor zbytkového aerosolu. Nejprve byl zkoušen vodný aerosol. Dále pak byl testován aerosol s částicemi. Jako vhodný „model virů“ byl využit kasein, který byl obarven pro lepší vizuální hodnocení.

5. Analyzátor zbytkového aerosolu pro testování textilií

Bariérové textilie byly testovány na Analyzátoru zbytkového aerosolu („AZA“), který byl navržen a sestaven za účelem testování bariérových vlastností textilií. Přístroj hlavně určený pro určení množství vodného aerosolu ze vzduchu, čímž jsou myšleny kapénky vody obsahující viry či bakterie. Zařízení měří i podtlak v prostoru mezi testovanou textilií a absolutním filtrem. Čímž je možno stanovit namáhavost dýchání za podmínek, že jsou ústa a nos zakryty touto textilií.

Principem přístroje je simulace dýchání přes testovanou textilii. Je navržen tak, aby podtlak a průtok v zařízení odpovídal lidskému dýchání. Vodný aerosol v definované koncentraci a velikosti částic je na vnější straně testované textilie. Tento aerosol prochází skrz testovanou textilii za podmínek simulující dýchání, a to tlaku a průtoku. Aerosol je zčásti zadržen testovanou textilií a zčásti prochází do prostoru za testovanou textilií. Z tohoto prostoru je vzduch odsáván skrze absolutní filtr k vzduchové pumpě a průtokoměru. Tento absolutní filtr je nanoporézní a hydrofobní. Právě tímto filtrem jsou kapénky vody z aerosolu oddělovány a hromaděny na jeho povrchu, čímž dochází k ucpávání filtru a snížení průtoku vzduchu systémem. Právě měření průtoku vzduchu je hodnota ukazující množství prošlého aerosolu testovanou textilií.



Obrázek 11 Schéma přístroje „AZA“: 1) generátor vodného aerosolu 2) přívod aerosolu 3) nádoba s odtažením vzduchu 4) testovaná textilie 5) absolutní filtr 6) odvod vzduchu ze systému 7) vzduchová pumpa 8) měření průtoku vzduchu

Technické parametry

Kvantifikace proudění vzduchu při pokusu

- Plocha vzorku: 15 cm^2 (průměr vzorku $4,5 \text{ cm}$)
- Průtok vzduchu soustavou: $1,5 \text{ dm}^3/\text{min}$
- Průtok na plochu vzorku: 1 cm^2 vzorku za jednu minutu proteče $0,1 \text{ dm}^3$ vzduchu

Pro srovnání skutečné dýchání

- Aktivní plocha respirátoru: 160 cm^2
- Minutová ventilace člověka za klidu: 8 dm^3
(nádech 8 dm^3 + výdech 8 dm^3 = $16 \text{ dm}^3/\text{min}$)
→ 1 cm^2 respirátoru (roušky) za jednu minutu proteče $0,1 \text{ dm}^3$ vzduchu

Postup měření

1. Zapnout sání kompresoru
2. Nastavit průtok vzduchu vzorkem na $1,5 \text{ dm}^3/\text{min}$
3. Zapnout měření podtlaku při „dýchání“

4. Zaplnit okolní prostor testačním aerosolem
5. Uvést vzorek do kontaktu s aerosolem
6. Sledovat průtok a podtlak

Pokud klesne průtok vzduchu, znamená to, že kapénky prošly na absolutní filtr. Naopak nárůst podtlaku znamená, že dochází k „ucpání“ testovaného vzorku kapénkami a v reálné situaci by tak bylo dýchání ztížené.

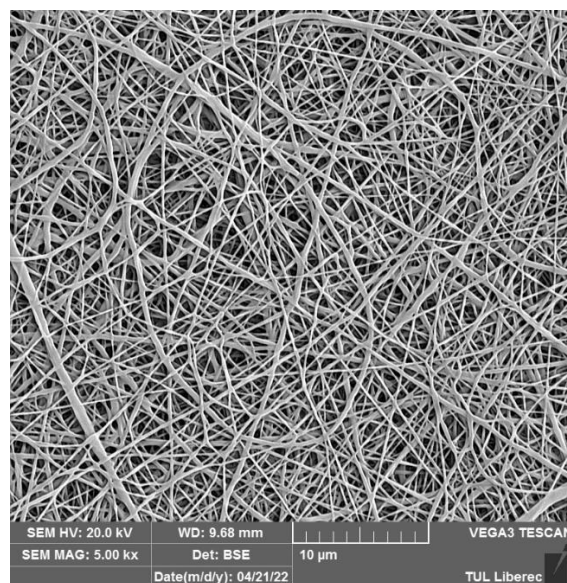
„Absolutní filtr“

Pro testování byl použit materiál, který je dále nazýván jako absolutní filtr. Právě na tento filtr bylo zaměřeno testování. Na tomto filtru dochází k zachycení aerosolu s částicemi, který prošel skrze testovaný textilní materiál. Vytváří se kapalný film na jeho povrchu, čímž je vhodný pro následnou extrakci virových částic. Jde o hydrofobní netkanou textilií z polypropylenu. Materiál je od firmy TOPTEC HNS, pod označením SO-NO1.

Plošná hmotnost: 6 g.m^{-2}

Průměr vláken: $0,3 \text{ }\mu\text{m}$ ($s=0,300$ $v=23,252$ IS (0,281; 0,320) $u_A=0,010$)

Kontaktní úhel: 120°



Obrázek 12 Skenovací elektronová mikroskopie – „absolutní filtr“

5.1. Materiál

Pro zkoušky bariérových vlastností byly testovány textilní materiály v rámci projektu VIRATEX od firmy INOTEX. Byly zkoušeny pleteniny a tkaniny z různého materiálového složení. Dále pak sendviče z pletenin různého materiálového složení a vrstev. Vzorky jsou označeny výrobním číslem. A pro porovnání byly zkoušeny standardně používané textilní materiály, a to třívrstvé obličejové roušky a čtyřvrstvé respirátory třídy FFP2 z polypropyleny.

Tabulka 2 Popis textilního materiálu

| | Materiálové složení | Vazba | Plošná hmotnost [g/m ²] |
|------------------|------------------------------|----------------------|-------------------------------------|
| Tkanina | 50% bavlna, 50% polyester | Kepr 2/1 | 195 |
| | 100% akryl | Kepr 2/1 | 270 |
| Pletenina | 100% bavlna | Jednolícní hladká | 135 |
| | 50% bavlna, 50% polyester | Jednolícní hladká | 140 |
| | 95% viskóza, 5% polyuretan | Jednolícní elastická | 165 |
| | 94% polyester, 6% polyuretan | Jednolícní elastická | 175 |
| | 51% polyester, 49% bavlna | Oboulícní | 150 |
| | 39% polyester, 61% bavlna | Oboulícní | 135 |

Tabulka 3 Označení a popis textilního materiálu pro textilní sendviče

| Označení textilií | Materiálové složení | Úprava | Vazba | Plošná hmotnost [g/m ²] |
|-------------------|---|-----------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| JC1115-VB | 46% polyester Thermocool Fresh, 45% polyester, 9% polyuretan | VIROBLOCK | Počesaná zátažná jednolícní | 204 |
| JB331-VB | 100% bavlna | VIROBLOCK | Zátažná jednolícní | 134 |
| VR-002 | 50% bavlna, 50% polyester | - | Zátažná jednolícní | 158 |
| VR-006 | 39% polyester, 61% bavlna | - | Zátažná oboulícní | 188 |
| VR-007 | 100% polyester | - | Zátažná jednolícní | 53 |
| NT zelená | 100% polypropylen | - | - | 17 |
| NT bílá | 100% polypropylen | - | - | 30 |
| Nano NT 01 | 100% polypropylen | - | - | 53 |

Tabulka 4 Vrstvy textilních sendvičů

| Číslo sendviče | Vnější vrstva | Střední vrstva | Vnitřní vrstva |
|----------------|---------------|----------------|----------------|
| S001 | JC1115-VB | NT zelená | - |
| S002 | JC1115-VB | NT bílá | - |
| S003 | JC1115-VB | NT zelená | VR-007 |
| S004 | JC1115-VB | NT bílá | VR-007 |
| S005 | JC1115-VB | Nano NT 01 | VR-007 |
| S007 | JB331-VB | NT zelená | - |
| S008 | JB331-VB | NT bílá | - |
| S009 | JB331-VB | NT zelená | VR-007 |
| S010 | JB331-VB | NT bílá | VR-007 |
| S011 | JB331-VB | Nano NT 01 | VR-007 |
| S013 | VR-002 | NT zelená | - |
| S014 | VR-002 | NT bílá | - |
| S015 | VR-002 | NT zelená | VR-007 |
| S016 | VR-002 | NT bílá | VR-007 |
| S017 | VR-002 | Nano NT 01 | VR-007 |
| S019 | VR-006 | NT zelená | - |
| S020 | VR-006 | NT bílá | - |
| S021 | VR-006 | NT zelená | VR-007 |
| S022 | VR-006 | NT bílá | VR-007 |
| S023 | VR-006 | Nano NT 01 | VR-007 |

5.2. Testování textilních materiálů

V první sadě experimentu byl použit pouze vodný aerosol, tedy voda bez kaseinu. Byly testovány různé textilní materiály na přístroji Analyzátor zbytkového aerosolu. Z naměřených hodnot byly následně vytvořeny grafy. Cílem tohoto testu je rozlišit textilní materiály, zda jsou schopny zachytit aerosol či nikoli.

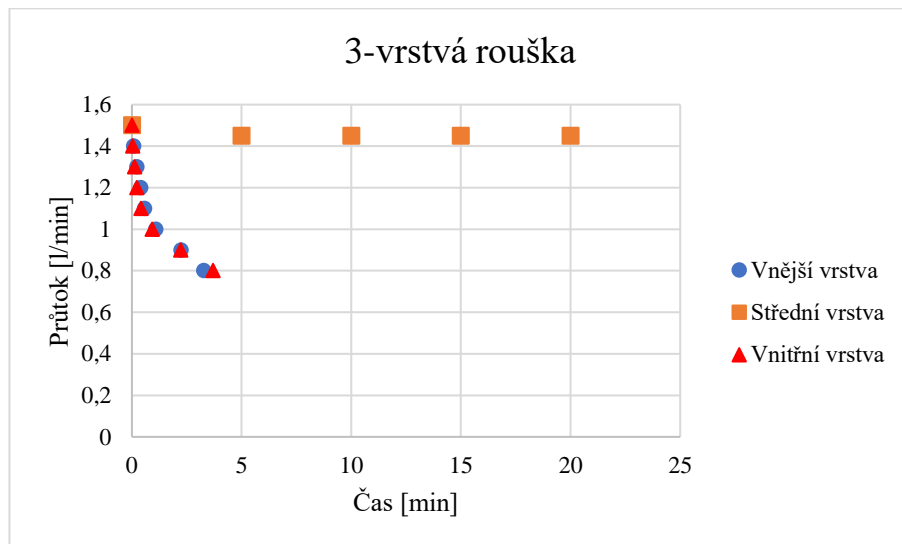
Postup

Pro zkoušku byla použita destilovaná voda, která se nalila do nádoby o objemu 7 ml. Vzorek textilního materiálu byl přichycen na nádobu s odtahem vzduchu o průměru 4,5 cm. Na trubici pro odtah vzduchu byl upevněn absolutní filtr nepropustný pro aerosol. Poté byl zapnut generátor vodného aerosolu a vzduchová pumpa. Vytvořila se mlha, která byla přivedena do zásobníku až k nádobě s upevněným textilním vzorkem. Mezi testovanou textilií a absolutním filtrem byl měřen podtlak v prostoru. Průtok vzduchu byl nastaven na 1,5 l/min.

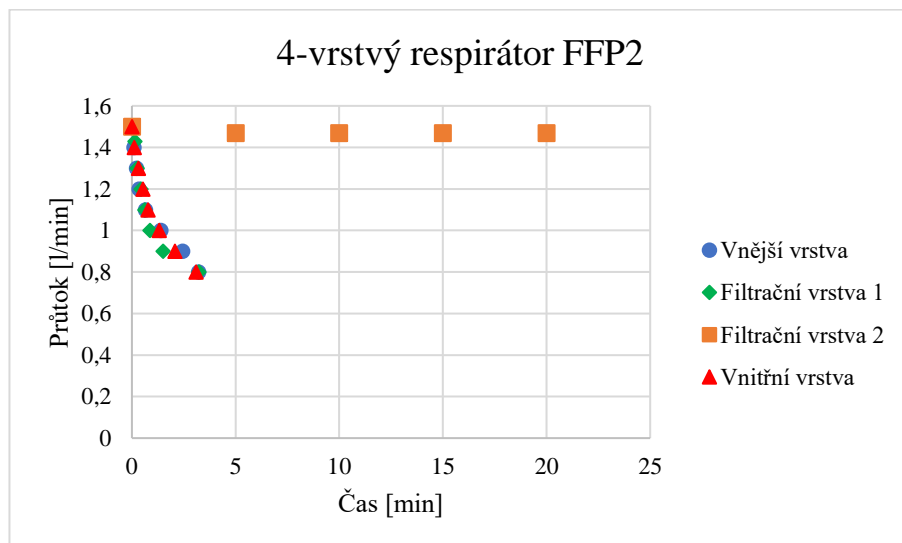
Byl zaznamenáván čas a tlak, kdy došlo k poklesu průtoku vzduchu o jednu desetinu. Průtok vzduchu byl sledován do hodnoty 0,8 l/min. Z těchto hodnot byly pak vytvořeny grafy.

1) Zdravotnická rouška a respirátor

Měření byla provedena i se standardně používanými textilními materiály, jako jsou zdravotnické roušky a respirátory. U těchto běžných ochranných prostředků nedocházelo k poklesu průtoku vzduchu ani po 20 minutách, kdy bylo testování dále ukončeno. Tuto odolnost materiálu mu propůjčuje střední neboli filtrační vrstva, což je znázorněno oranžovým čtverečkem v grafu na obrázku 13 a 14. Zatímco vnější a vnitřní vrstvou prochází skrz aerosol a zachytává se na filtru. Tím dochází k ucpání pórů a rychlému klesání průtoku vzduchu. Pro účinnost systému je nejdůležitější právě střední vrstva.



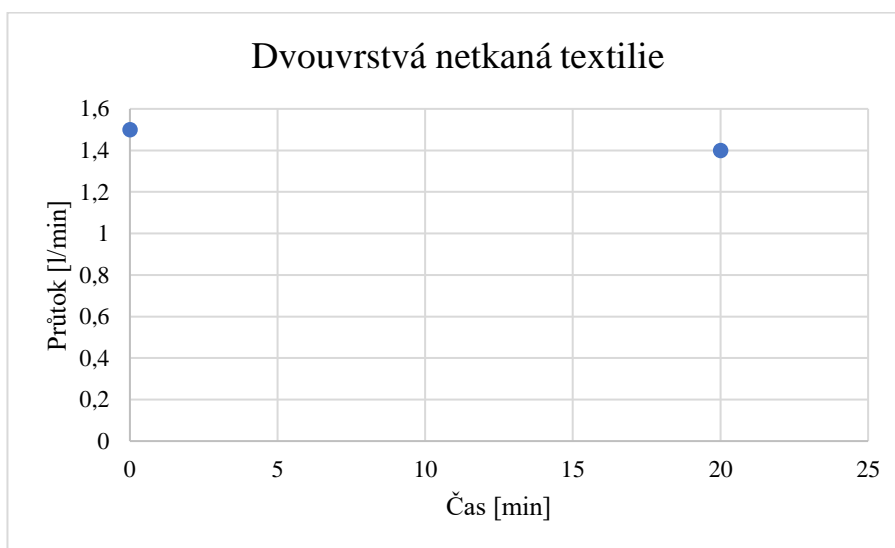
Obrázek 13 Graf - Průtok vzduchu 3-vrstvou zdravotnickou rouškou



Obrázek 14 Graf – Průtok vzduchu 4-vrstvým respirátorem FFP2

2) Netkaná textilie melt-blown

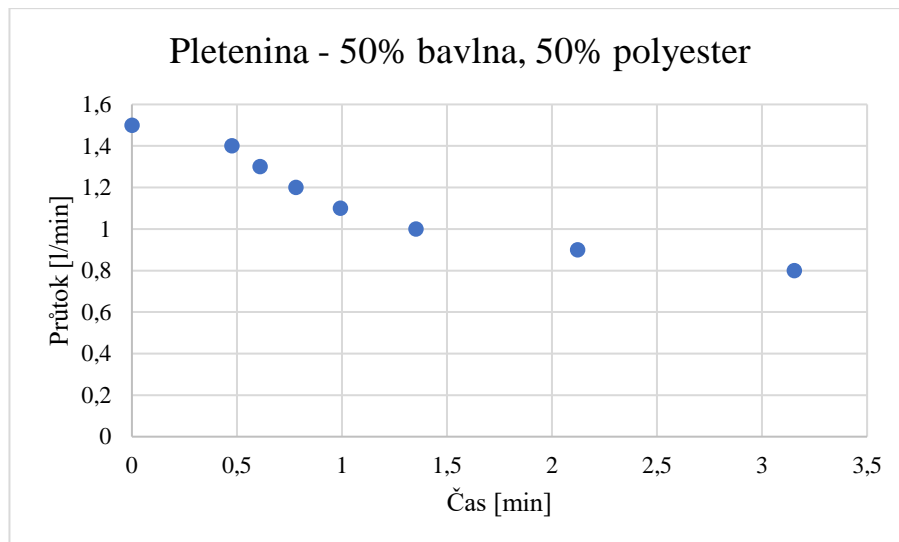
Byla testována netkaná textilie, která byla vytvořena technologií melt-blown z polypropylenu. Nejprve byla testována jedna vrstva o plošné hmotnosti $2,32 \text{ g/m}^2$. Při měření této vrstvy docházelo k rozdílným časům výdrže materiálu. Příčinou byla nerovnoměrnost materiálu. Poté byla testována dvouvrstvá netkaná textilie o plošné hmotnosti $4,31 \text{ g/m}^2$. Na obrázku 15 lze vidět graf, kdy měření bylo po 20 minutách ukončeno, protože nedošlo k poklesu průtoku vzduchu. Hodnoty odpovídají měření střední neboli filtrační vrstvy standardně používaných textilií. Navýšením vrstev dochází ke snížení nerovnoměrnosti.



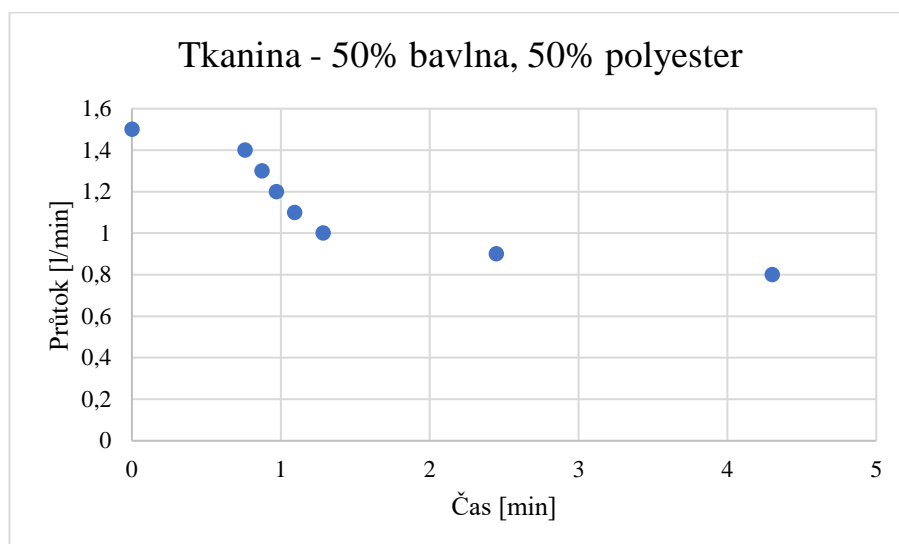
Obrázek 15 Graf - Průtok vzduchu dvěma vrstvami netkané textilie

3) Pleteniny a tkaniny

Prvotním testováním byly zkoušeny pleteniny a tkaniny různého materiálového složení. Níže jsou pak uvedeny jen vybrané grafy jednovrstvých textilních materiálů, na kterých lze pozorovat pokles průtoku vzduchu v čase. To je způsobeno tím, že aerosol prošel skrz textilní materiál a zachytil se na absolutním filtru. Níže je uvedena pletenina a tkanina stejného materiálového složení na obrázku 16 a 17. Lze vidět, že průběh poklesu průtoku vzduchu je srovnatelný u obou textilií. Výsledky dalších textilních materiálů jsou uvedeny v příloze 3. Z výsledků je zřejmé, že tyto samostatné vrstvy nejsou vhodné.



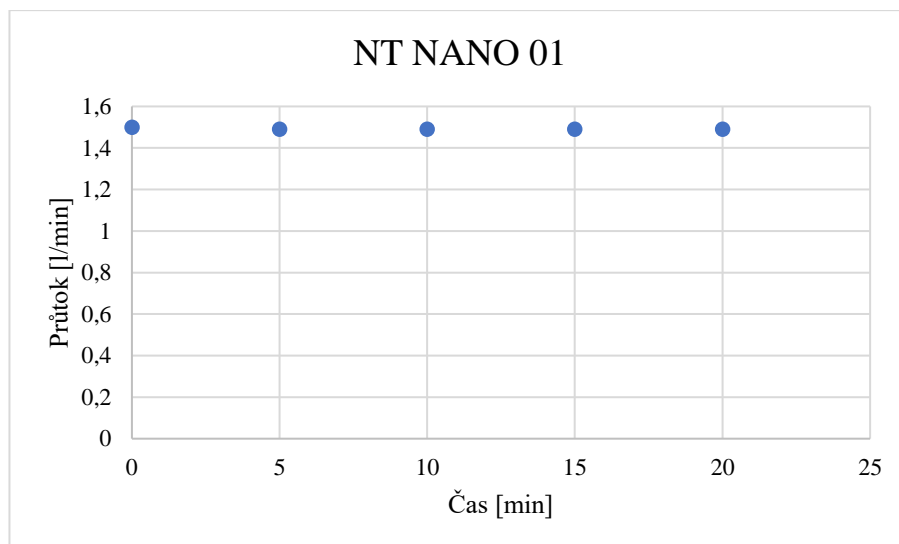
Obrázek 16 Graf - Průtoku vzduchu pleteninou (50% bavlna, 50% polyester)



Obrázek 17 Graf - Průtok vzduchu tkaninou (50% bavlna, 50% polyester)

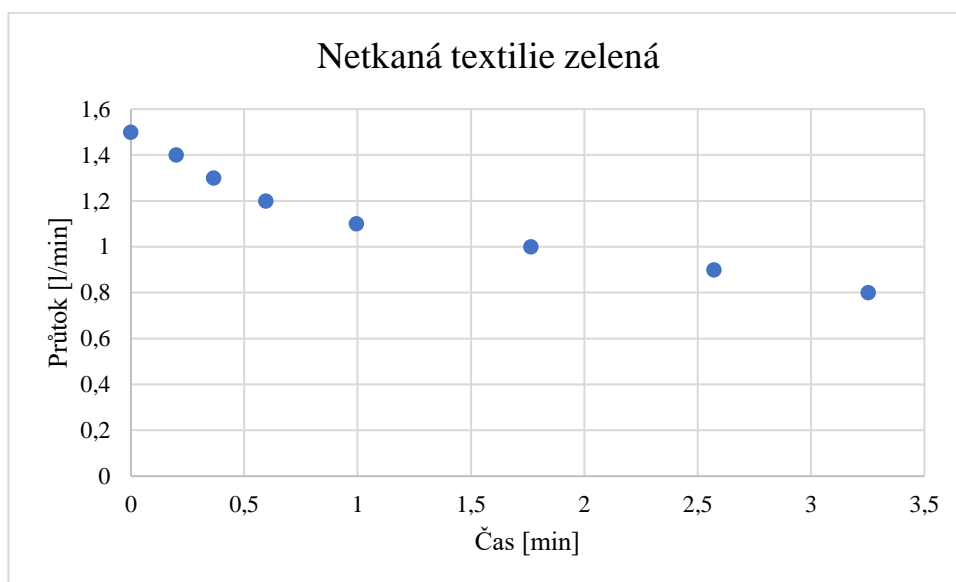
4) Netkané textilie

Nejprve byly testovány nano netkané textilie používané jako vnitřní vrstva neboli záchytná vrstva v textilních sendvičích. Jedná se o mikro-nano textilii. Testování bylo po 20 minutách ukončeno, protože nedocházelo k poklesu průtoku vzduchu, což lze vidět v grafu na obrázku 18. Proto u textilních sendvičů, kde byly použity nano netkané textilie jako střední vrstva, dále nebyly testovány. Neboť by výsledky byly stejné jako u samotných vrstev. Tím, že je materiál stabilní i po 20 minutách, tak se dá jeho funkce srovnat se střední vrstvou použitou ve zdravotnických rouškách či respirátorech.



Obrázek 18 Graf – Průtok vzduchu Nano NT 01

Dále byly testovány jednotlivé vrstvy netkaných textilií (zelená 17 g/m², bílá 30 g/m²), které jsou kalandrované a termicky spojené. Tyto textilie vykazují podobné chování při zachytu aerosolu. U těchto materiálů dochází k poklesu průtoku vzduchu přibližně za 3 minuty, jak lze vidět v grafu na obrázku 19. U textilních sendvičů, které obsahují jako střední vrstvu netkanou textilií (zelená 17 g/m²), projevují vyšší odolnost než u textilních sendvičů s netkanou textilií (bílá 30 g/m²), kdy pokles průtoku vzduchu je rychlejší.

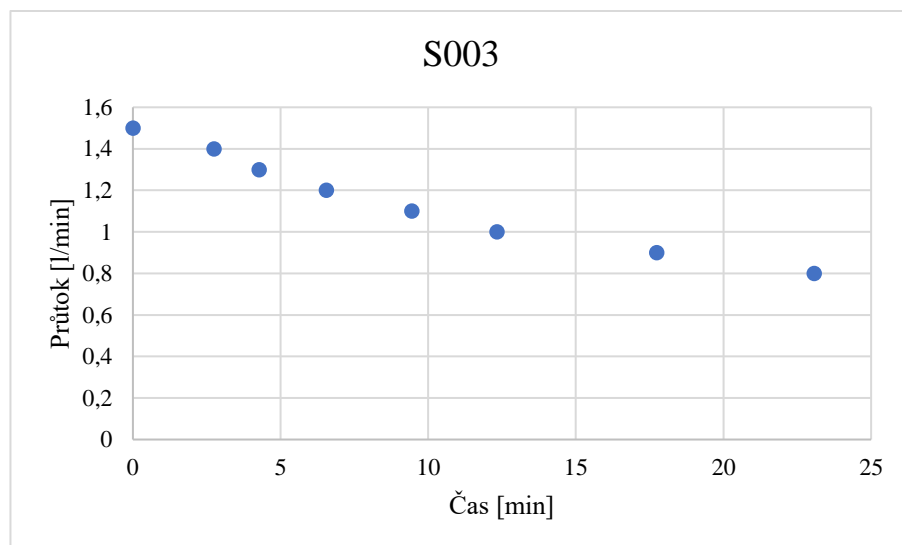


Obrázek 19 Graf – Průtok vzduchu netkanou textilií z POP (zelená 17 g/m²)

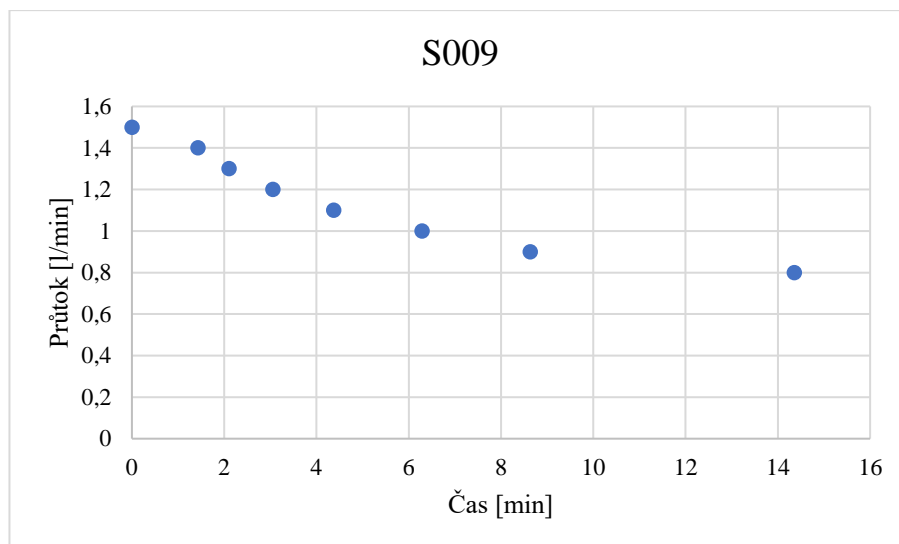
5) Textilní sendviče

Dále byly testovány textilní sendviče z pletenin a netkaných textilií různého materiálového složení a počtu vrstev. Pro vnitřní a vnější vrstvu je použita pletenina. Kdežto uprostřed je využito netkané textilie, která by měla sloužit jako záchytná vrstva. Tyto vrstvy jsou popsány výše v bodě 4. Jednotlivé textilní materiály jsou uvedeny výše v tabulce 3 a složení jednotlivých vrstev textilních sendvičů je uvedeno v tabulce 4 v kapitole 5.1.

Níže jsou uvedeny grafy dvou textilních sendvičů, které obsahují netkanou textilií (zelená 17 g/m²) jako střední vrstvu. Rozdílem těchto dvou sendvičů je to, že jeden je opatřen antivirovou úpravou a druhý ne. Na obrázku 20 lze vidět textilní sendvič s označením S003, jehož jedna z vrstev je opatřena úpravou. Naopak na obrázku 21 je uveden průběh poklesu vzduchu u sendviče s označením S009, u něhož nebyla použita úprava. Dochází k prodloužení doby, za kterou dochází k poklesu průtoku vzduchu. Grafy pro ostatní textilní sendviče jsou uvedeny v příloze 4.



Obrázek 20 Graf - průtok vzduchu textilním sendvičem S003



Obrázek 21 Graf - Průtok vzduchu textilním sendvičem S009

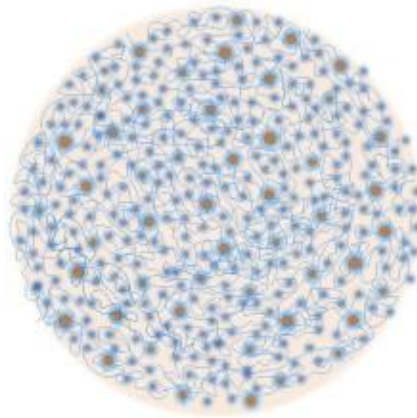
6. „Model virů“ - kasein

Jelikož nelze použít aktivní viry, bylo nutné využít virům podobné částice. Viry představují proteiny neboli bílkoviny, tudíž bylo potřebné nalézt bílkovinu, která je netoxická a rozpustná ve vodě. Jako virům podobné částice byl vybrán kasein, který odpovídá virům z hlediska své velikosti. Další výhodou je, že je dostupný v sypké formě a dobře se skladuje.

Mléko obsahuje koloidní částice, které se skládají z komplexu přidrženého proteinu a fosforečnanu vápenatého. Tyto heterogenní sdružující koloidy se nazývají kaseinové micely. Právě kaseinové micely představují důležitou a cennou složku mléka. [32]

Kaseinová micela je zhruba kulovitá, i když nemá hladký povrch o průměru asi 100 nm. Skládá se z menších jednotek, nazývaných submicely o průměru asi 14 nm. Submicely mohou být spojeny dohromady malými shluky fosforečnanu vápenatého, které je přemostňují. Tímto způsobem se submicely shlukují, dokud nevytvoří micely. Ty se skládají ze čtyř jednotlivých složek genového produktu, označovaných α_{s1} -, α_{s2} -, β - a κ -kasein, které se liší primární strukturou a vlastnostmi. [32], [33]

Kaseinové micely nemají pevné struktury. Změny teploty, pH, iontové síly, aktivity vody atd. vedou ke změnám v rozdělení velikosti a v podílu volných submicel. Čistý kasein nelze rozpustit ve vodě, avšak ve slabém alkalickém roztoku už je rozpustný. Ke srážení kaseinu dochází vlivem působení kyselin. [32]



Obrázek 22 Vnitřní strukturu kaseinové micely [32]

6.1. Detekce kaseinu na textilií

V první sadě experimentu byla zvolena textilie používaná k ochraně dýchacích cest. Byl připraven roztok s kaseinem, do které byl smočen vzorek textilie. Pro upravené vzorky byly připraveny dvě zkoušky pro detekci bílkovin zachycené na textilií.

Materiál

Pro experiment byla zvolena třívrstvá rouška z polypropylenu, která byla rozdělena na jednotlivé vrstvy.

Postup

Pro úpravu byl připraven roztok:

- 50 ml destilované vody
- 0,5 g kaseinu
- 0,5 ml čpavku (amoniak)

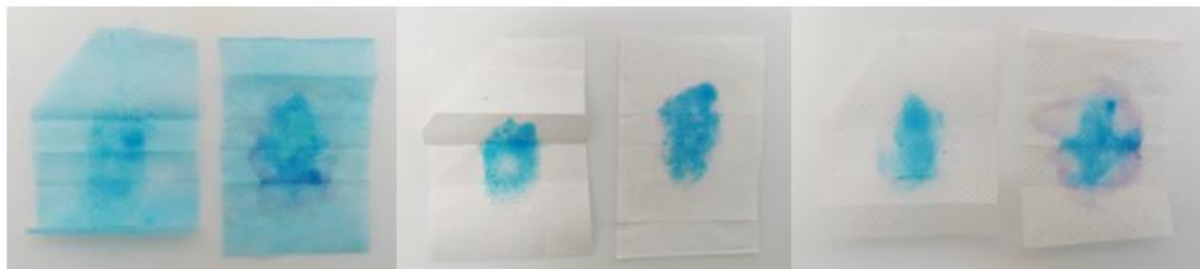
Do odměřeného množství vody byl přidán kasein v sypké formě. Takto připravená suspenze se dala na vařič a zahřála se na 80°C. Pro lepší rozpustnost kaseinu se přidal čpavek. Připravený roztok se nechal vychladnout při laboratorní teplotě. Jednotlivé vrstvy roušky se ponořily do roztoku. Poté se nechaly usušit v sušárně při teplotě 100°C. Na připravených vzorcích se provedly dvě zkoušky.

Pro první zkoušku byla použita kyselina dusičná (65 %). Kyselina se nanasla na původní neupravený vzorek a na vzorek s naneseným kaseinem. Na obrázku 23 lze vidět, že u původního vzorku nedošlo ke změně. Kdežto u vzorku s obsahem kaseinu dochází k zažloutnutí, čímž je potvrzena přítomnost bílkovin.



Obrázek 23 Detekce kaseinu kyselinou dusičnou (vlevo původní vzorek, vpravo vzorek s obsahem kaseinu)

Pro druhou zkoušku se použil s hydroxid draselný a modrá skalice. Nejprve byl nanesen hydroxid draselný a poté modrá skalice na původní vzorek a na vzorek obsahující kasein. Na obrázku 24 lze vidět, že vzorek s naneseným kaseinem se zbarví do fialova, což dokazuje přítomnost bílkovin. U neupraveného vzorku opět nedošlo k žádné reakci.



Obrázek 24 Detekce kaseinu hydroxidem draselným a modrou skalicí
(vlevo původní vzorek, vpravo vzorek s obsahem kaseinu)

6.2. Barvení kaseinu

Problémem kaseinu je, že se nedá detekovat bez pomocných činidel. V předchozí zkouškách byl uveden postup detekce kaseinu, ale pouze ve vysokých koncentracích. Proto byla vyvinuta metoda obarvení kaseinu pro lepší vizuální hodnocení. Takto obarvený kasein byl dále používán pro další zkoušky.

Postup

Pro zkoušky byl připraven roztok:

- 50 ml destilované vody
- 0,5 g kaseinu
- 0,5 ml čpavku (amoniak)
- 0,015 g barviva (ostazinová červeně)

Do odměřeného množství vody byl přidán kasein v sypké formě. Takto připravená směs se dala na vařič a zahřála se na 80°C. Pro lepší rozpustnost kaseinu se přidal čpavek. Poté co došlo k rozpuštění kaseinu, přidalo se barvivo, tím vznikl sytě červený roztok. Připravený roztok se nechal vychladnout při laboratorní teplotě. Do roztoku byla přidána kyselina sírová pro neutralizaci a zároveň dochází k vysrážení červeně zbarveného kaseinu. Poté byla suspenze s vysráženým kaseinem filtrací oddělena od reakční směsi, což ukazuje obrázek 25. Jako filtr byl použit filtrační papír. Došlo k oddělení kaseinu, který se nechal volně uschnout při laboratorní teplotě.



Obrázek 25 Filtrační papír s červeně značkováným kasein

Pro další zkoušky byl obarvený kasein rozpuštěn. Do odměřeného množství vody se přidal obarvený kasein a alkálie, v tomto případě amoniak. Připravený roztok se dal na vařič a za stálého míchání se zahřál na 80°C. Poté co se kasein rozpustil, nechal se roztok vychladnout při laboratorní teplotě. Takto připravený roztok s obarveným kaseinem se používal pro další zkoušky.

6.3. Testování textilních materiálů s virům podobnými částicemi

V další sadě experimentu byly použity virům podobné částice, v tom to případě šlo o značkováný kasein. Jde o alternativní metodu umožňující simulaci záhytu aerosolu, v jehož kapičkách jsou rozptýleny částice o rozměrech příslušných virům. Byly testovány standardně používané textilní materiály na přístroji Analyzátor zbytkového aerosolu. Z naměřených hodnot byly následně vytvořeny grafy.

Předchozí experimenty s kapičkami aerosolu poskytují informaci o tom, zda případně a jak dlouho ochranný prostředek chrání před průnikem aerosolu. Ale nedávají představu o tom, zda opravdu skrz filtr neproniká žádný aerosol s částicemi. Aby toto bylo zjištěné, byl použit značkováný kasein.

Postup

Pro zkoušku byla použit obarvený kasein, jehož postup přípravy byl popsán v kapitole 6.2. Roztok se nalil do nádoby o objemu 7 ml. Vzorek textilního materiálu byl přichycen na nádobu s odtahem vzduchu o průměru 4,5 cm. Na trubici pro odtaž vzduchu byl upevněn absolutní filtr nepropustný pro aerosol. Poté byl zapnut generátor vodného aerosolu a vzduchová pumpa. Vytvořila se červená mlha, která byla přivedena do zásobníku až k nádobě s upevněným textilním vzorkem. Mezi testovanou textilií a absolutním filtrem byl měřen podtlak v prostoru. Průtok vzduchu byl nastaven na 1,5 l/min. Působení bylo sledováno po dobu dvou minut. Pro následné vyhodnocení byl absolutní filtr sundán z trubice.

1) Zdravotnická rouška a respirátor

V první řadě byly testovány standardně používané textilní materiály, jakou jsou zdravotnické roušky a respirátory. Nejprve byla zkoušena zdravotnická rouška. Vnější vrstva má výrazné růžové zbarvení, jak lze vidět na obrázku 26. Na vnitřní vrstvě zdravotnické roušky je zřetelný obrys růžové barvy. Což dokazuje, že značkovaný kasein prošel skrze filtrační vrstvu. Na absolutním filtru lze vidět zachycený obarvený kasein, který prošel všemi vrstvami zdravotnické roušky.



Obrázek 26 Prostup obarveného kaseinu zdravotnickou rouškou: vlevo vnější vrstva, uprostřed vnitřní vrstva, vpravo absolutní filtr

Dále pak byl testován respirátor, který je zobrazen na obrázku 27. Lze vidět, že vnější vrstva respirátoru má růžové zbarvení. Na vnitřní vrstvě vzorku respirátoru je pár míst s růžovým nádechem, což značí prostup značkovaného kaseinu. Na absolutním filtru lze vidět zachycený obarvený kasein, který prošel skrz všechny vrstvy respirátoru.



Obrázek 27 Prostup kaseinu respirátorem: vlevo vnější strana, uprostřed vnitřní strana, vpravo absolutní filtr

2) Netkaná textilie

Nejprve byla otestována samotná vrstva nano netkané textilie. Jelikož slouží jako záchytná vrstva, která určuje propustnost celého textilního sendviče. Testování bylo sledováno po dobu 2 minut. Na obrázku 28 je zobrazen absolutní filtr nano netkané textilie, kde lze vidět nepatrné zabarvení představující zachycený značkovaný kasein, který prošel skrze textilií.



Obrázek 28 Prostup značkovaného kaseinu Nano NT 01

3) Textilní sendviče

Pro testování záchytu aerosolu s částicemi byly vybrány textilní vrstvy, které zachytily aerosol a průtok vzduchu neklesal. Jedná se o třívrstvé textilní sendviče jejichž vnější vrstva byla pletenina opatřená antivirovou úpravou a vnitřní vrstva byla pletenina bez úpravy. A jako střední vrstva byla použita nano netkaná textilie. Celkem tedy byly testovány dva textilní sendviče.

Byly testovány všechny tři vrstvy textilních sendvičů dohromady. Níže jsou uvedeny skeny dvou textilních vrstev, u kterých se liší vnější vrstva. Nejprve byl testován sendvič S005. Zde byla použita textilie s označením JC1115-VB jako vnější vrstva a textilie s označením VR-007 jako vnitřní vrstva. Pro střední vrstvu byla použita nano netkaná textilie 01. Na obrázku 29 lze pozorovat absolutní filtr po rozprášení aerosolu se značkovaným kaseinem. Je vidět jen nepatrné zbarvení, kvůli kaseinu, který prošel skrze všechny vrstvy sendviče.



Obrázek 29 Prostup značkovaného kaseinu textilním sendvičem S005

Dále byl testován textilní sendvič s označením S011. Zde byla použita textilie s označením JB331-VB jako vnější vrstva a textilie s označením VR-007 jako vnitřní vrstva. Pro střední vrstvu byla opět použita nano netkaná textilie 01. Absolutní filtr po rozprášení značkovaného kaseinu je možné pozorovat na obrázku 30. U textilního sendviče obsahující nano netkanou textilií, nedošlo k žádnému prostupu kaseinu na absolutní filtr.



Obrázek 30 Prostup značkovaného kaseinu textilním sendvičem S011

7. Metoda detekce virům podobných částic

Byla navržena metoda detekce virům podobných částic. Kalibrací byly definovány roztoky s virům podobnými částicemi, jenž byly nanášeny na vzorky. Následně byla provedena extrakce virům podobným částicím ze vzorku. Z extrahovaného roztoku byla provedena analýza.

Metoda detekce označeného kaseinu

V této metodě byl použit obarvený kasein. Byla vytvořena kalibrační řada roztoku s obarveným kaseinem, která byla nanášena na absolutní filtr. Z takto připravených vzorků byla následně provedena extrakce. Na závěr z extrahovaného roztoku byla provedena analýza.

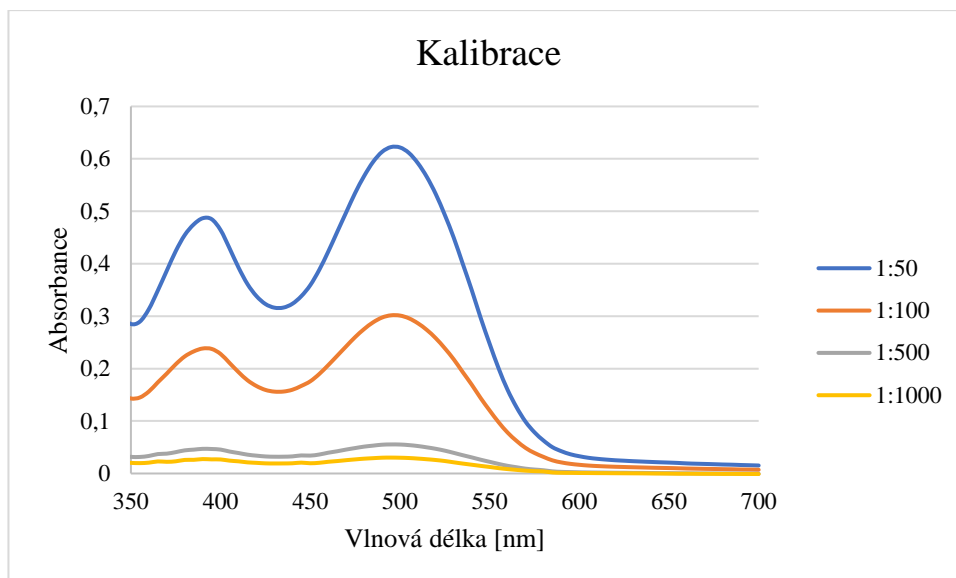
Postup

Byly připraveny čtyři roztoky o různých koncentracích pro množství 50 ml:

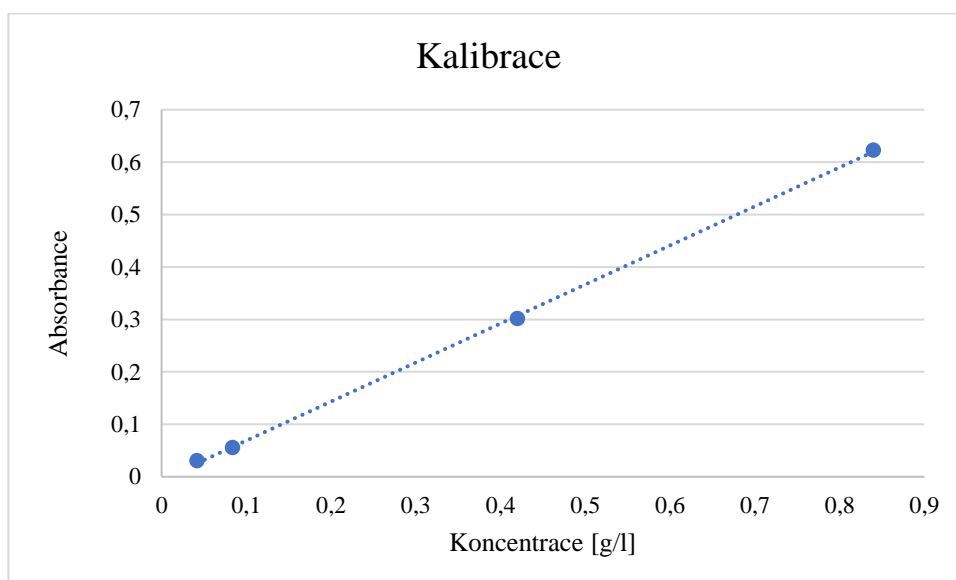
- 1:50 → 0,5 g/l
- 1:100 → 0,1 g/l
- 1:500 → 0,05 g/l
- 1:1000 → 0,01 g/l

Z absolutního filtru byly připraveny čtyři vzorky o rozměrech 1x1 cm. Na takto připravené vzorky bylo nanášeno 100 µl připravených roztoků pomocí automatické pipety. Celkem byly tedy čtyři vzorky a na každý z nich nanášena jiná koncentrace roztoku. Byly připraveny čtyři zkumavky, do kterých byly odměřeny 3 ml destilované vody. Do takto připravených zkumavek byly dány vzorky, které se následně uzavřely. Zkumavky se vzorky byly připevněny na třepačku, kde byly třepány 10 min při 400 otáčkách. Tento proces byl opakován celkem třikrát. A ve výsledných zkumavkách bylo tedy 9 ml extrahovaného roztoku.

Takto extrahované roztoky byly změřeny na spektrofotometru. Na obrázku 31 lze vidět absorpční maxima roztoků. Koncentrace roztoků ukazuje obrázek 32, což jsou koncentrace, které je možno zachytit.



Obrázek 31 Graf - Kalibrace – absorbční maxima



Obrázek 32 Kalibrace - koncentrace roztoků

Metoda detekce inaktivních virů

Pro tuto metodu byly použity inaktivní viry z Výzkumného ústavu veterinárního lékařství. Byla vytvořena kalibrace roztoku s inaktivními viry, jenž byl nanesen na absolutní filtr. Dále pak byl roztok použit v přístroji Analyzátor zbytkového aerosolu, kde byl testován textilní materiál. Poté byla provedena extrakce inaktivních virů z připravených vzorků. Pro následnou analýzu byly extrahované vzorky poslány do Výzkumného ústavu veterinárního lékařství.

Postup

Byl připraven roztok s inaktivními viry pro množství 20 ml:

- 1 ml roztoku inaktivních virů
- 19 ml H₂O
- 0,9% NaCl

Kalibrace

Z absolutního filtru byly připraveny dva vzorky o rozměrech 1x1 cm. Na jeden připravený vzorek bylo nanášeno 20 µl a na druhý vzorek bylo nanášeno 10 µl připraveného roztoku pomocí automatické pipety. Celkem byly tedy dva vzorky absolutního filtru s přesně definovaným množstvím virů. Byly připraveny dvě zkumavky, do kterých bylo odměřeno 10 ml fyziologického roztoku. Do takto připravených zkumavek byly dány vzorky, které se následně uzavřely. Zkumavky se vzorky byly připevněny na třepačku, kde byly třepány 5 min při 400 otáčkách. Tento proces byl opakován celkem dvakrát. Ve výsledných zkumavkách bylo 20 ml fyziologického roztoku s extrahovanými viry.

Pokus

Pro pokus s roztokem inaktivních virů byl použit Analyzátor zbytkového aerosolu. Kdy dochází k rozprášení roztoku na textilní materiál. Celkem byl pokus proveden třikrát. Nejdříve bez textilního materiálu, pouze s upevněným absolutním filtrem. Což znázorňovalo, kolik virů dokáže projít do dýchacích cest. Dále pak byla použita bavlněná tkanina. A na závěr byla použita třívrstvá rouška, tedy filtr, kterým by nemělo nic projít.

Roztok s inaktivními viry byl nalit do nádoby o objemu 7 ml. Vzorek textilního materiálu byl přichycen na nádobu s odtahem vzduchu o průměru 4,5 cm. Na trubici pro odtah vzduchu byl upevněn absolutní filtr nepropustný pro aerosol. Poté byl zapnut generátor vodního aerosolu a vzduchová pumpa. Vytvořila se mlha, která byla přivedena do zásobníku až k nádobě s upevněným textilním vzorkem. Testování bylo sledováno po dobu dvou minut. Opět byla provedena extrakce inaktivních virů ze vzorku.

8. Výsledky a diskuze

Analyzátor zbytkového aerosolu

Pro testování bariérových vlastností byl navržen a sestaven Analyzátor zbytkového aerosolu (AZA). Přístroj simuluje dýchání přes testovanou textilií. Podtlak a průtok vzduchu je nastaven tak, aby odpovídal lidskému dýchání. Aerosol prochází skrz testovanou textilií, kterou je z části zadržen a z části prochází do prostoru za testovanou textilií. Aerosol je zachycen absolutním filtrem, na jehož povrchu jsou kapénky hromaděny, čímž dochází k ucpání pórů filtru a snížení průtoku vzduchu. Hlavním hlediskem při posuzování měření je právě hodnota průtoku vzduchu ukazující množství prošlého aerosolu testovanou textilií.

Virům podobné částice

Pro lepší přehled o částicích pronikajících skrze materiál bylo nutné nalézt virům podobné částice. Protože viry jsou bílkovina neboli protein, tudíž bylo potřebné najít nějakou bílkovinu, která by byla zdraví bezpečná. Byl vybrán kasein, jehož výhodou je, že se dá sehnat v syvké formě, dobře se skladuje, je ve vodě rozpustný, a hlavně zdravotně nezávadný. Průměrná velikost částice kaseinu je 100 nm, což je rozměr více přibližný velikosti virům, než jsou částice používané při standardním testování obličejových masek.

Kvůli tomu, že kasein nelze detekovat, byla vytvořena metodika obarvení kaseinu reaktivním barvivem. Dochází k označení kaseinu pro lepší vizuální hodnocení. Dále bylo vyzkoušeno disperzní barvivo či fluorescein, ale kasein se jeví jako lépe hodnotitelný.

Metody testování textilních materiálů

První základní metodou je testování odolnosti materiálu vůči průniku aerosolu na přístroji AZA. U tohoto testu je sledováno, zda je materiál schopný zachytit aerosol vody. Sleduje se pokles průtoku vzduchu za určitý čas. Čím kratší je doba, tím projde testovaným materiálem velké množství aerosolu. Naopak čím delší je doba, tím je testovaný materiál odolnější vůči průniku samotného aerosolu.

Druhou metodou je testování odolnosti materiálu vůči průniku aerosolu s částicemi na přístroji AZA. Testovaným materiálem mohou částice projít snáze než samotný aerosol. V tomto případě byl použit značkový kasein. Doba působení byla stanovena na 2 minuty. Navzdory předpokladům nelze množství prošlých virů kvantifikovat, ale díky značkovému kaseinu lze vizuálně vyhodnotit, zda prošel skrz testovaný materiál.

Testování textilních materiálů

Pro zkoušky bariérových vlastností byly testovány textilní materiály v rámci projektu VIRATEX od firmy INOTEX. Nejprve byly zkoušeny jednovrstvé pleteniny a tkaniny různého materiálového složení. Dále pak třívrstvé a dvouvrstvé textilní sendviče složené z pletenin na vnější a vnitřní vrstvě a netkanou textilií jako střední vrstva. Materiály byly nejdříve zkoušeny, zda vydrží průnik aerosolu. Poté byly testovány na průnik aerosolu s částicemi. Pro porovnání byly testovány i standardně používané textilní materiály jako je zdravotnická rouška a respirátor.

Nejvhodnější textilní sendviče se ukázaly ty, které obsahovaly nano netkané textilie. Dokázaly odolat prostupu aerosolu i aerosolu s částicemi. Tyto textilní sendviče vykazují srovnatelné výsledky jako standardní textilní materiály.

Metoda detekce virům podobných částic

Vedle předešlých metod byla navržena metoda pro kvantifikaci virům podobných částic. Byla vytvořena kalibrační řada se značkováním kaseinem. Byly připraveny čtyři roztoky o různých koncentracích 1:50, 1:100, 1:500 a 1:1000. Tyto roztoky byly nanášeny na absolutní filtr. Následně byla provedena extrakce virům podobných částic ze vzorků na třepačce. Z extrahovaných roztoků byla provedena analýza na spektrofotometru. V rámci této metodiky se nepodařilo kvantifikovat značkování kasein. Koncentrace 1:500 a 1:1000 už nelze detekovat. Podobně byly připraveny i disperzní barviva a fluorescein.

Na základě této metody byly použity inaktivní viry z Výzkumného ústavu veterinárního lékařství. Byla vytvořena kalibrace roztoku s inaktivními viry, jenž byl nanášen na absolutní filtr. Dále pak byl roztok použit v přístroji Analyzátor zbytkového aerosolu, kde byl testován textilní materiál. Poté byla provedena extrakce inaktivních virů z připravených vzorků. Pro následnou analýzu byly extrahované vzorky poslány do Výzkumného ústavu veterinárního lékařství.

Závěr

Cílem této diplomové práce bylo nalezení vhodného „modelu virů“ ve vodných kapénkách a jejich detekce. A následné otestování vybraných textilních vzorků na průnik „modelu viru“ z aerosolu. Teoretická část obsahuje popis virových částic z hlediska jejich chemického složení, morfologie, reprodukovatelnosti, klasifikaci a přenosu. Následně jsou uvedeny bariérové ochrany proti virům, jejich účel použití a posouzení filtračních materiálů. Dále pak filtrační mechanismy, materiál a struktura obličejových masek.

V experimentální části byl popsán přístroj Analyzátor zbytkového aerosolu, který byl využit pro všechny experimenty. První metodou, která byla zkoušena na přístroji, bylo testování odolnosti materiálu vůči průniku aerosolu. U tohoto testu byl sledován materiál, zda je schopný zachytit aerosol vody. Byl sledován pokles průtoku vzduchu za určitý čas. Pokud došlo k poklesu průtoku již o jednu desetinu, nastává problém, že aerosol prošel skrze testovaný materiál a začíná se ucpávat absolutní filtr. Druhou metodou je testování odolnosti materiálu vůči průniku aerosolu s částicemi na přístroji. Jako částice byl použit značkový kasein. Doba působení byla stanovena na 2 minuty.

V rámci této práce bylo nalezeno vhodného modelu virů, a to kasein. Pro lepší hodnocení byla vytvořena metodika značení kaseinu reaktivním barvivem. Na přístroji Analyzátor zbytkového aerosolu byl rozlišován textilní materiál, podle toho, zda byl schopen zachytit aerosol či nikoli. Pokud testovaný materiál vydržel působení aerosolu i po 20 minutách, byl použit aerosol s částicemi. Co se týče testovaného materiálu, nejlépe byly hodnoceny textilní sendviče, u kterých byla použita nano netkaná textilie. Výsledky odolnosti se dají srovnat se standardně používanými textiliemi.

Byly provedeny pokusy o kvantifikaci virových částic, nicméně nebylo možné detekovat množství prošlých částic. Avšak díky obarvenému kaseinu je možné kvantifikovat prošlé množství objektivně. Pokud se vzorky naskenují, dala by se přepočítat barevná plocha kaseinu, který se zachytil na filtru

Na závěr lze říci, že testovaný materiál může zachytit aerosol, ale už to neznamená, že bude odolný i pro pevné částice. Neboť testovaným materiálem mohou částice projít snáze než samotný aerosol. Navzdory předpokladům nebylo možné množství prošlých virů kvantifikovat, ale díky značkovému kaseinu bylo možné vizuálně vyhodnotit, zda částice prošly.

Seznam použité literatury

- [1] ACHESON, Nicholas. *Fundamentals of Molecular Virology*. 2. vydání. Hoboken: John Wiley & Sons, 2011. ISBN 978-0-470-90059-8.
- [2] LODISH, Harvey, Arnold Berk, et al. *Molecular Cell Biology*. 4. vydání. New York: W. H. Freeman, 2000. ISBN-10: 0-7167-3136-3.
- [3] Genetika-Biologie. *Viry*. [online]. ©2014. [cit. 2021-06-22]. Dostupné z: <http://www.genetika-biologie.cz/viry>
- [4] BARON, Samuel (ed.). *Medical Microbiology*. 4. vydání. Galveston (TX): University of Texas Medical Branch at Galveston, 1996. ISBN-10: 0-9631172-1-1.
- [5] ICTV. *Introduction to Virus Taxonomy*. [online]. ©2021. [cit. 2021-06-23]. Dostupné z: <https://talk.ictvonline.org/taxonomy/w/ictv-taxonomy>
- [6] FENNER, Frank a David WHITE. *Medical Virology*. 4. vydání. New York: Academic Press, 1994. [online]. [cit. 2021-06-24]. ISBN 0-12-746642-8. Dostupné z: <http://www.bio-nica.info/biblioteca/White&Fenner1994.pdf>
- [7] BEDNÁŘ, Marek a kolektiv. *Lékařská mikrobiologie: bakteriologie, virologie, parazitologie*. 1. vydání. Praha: Marvil, 1996. ISBN 859-4-315-0528-0.
- [8] SAKHAROV, Alexander a Konstantin ZHUKOV. Study of an air curtain in the context of individual protection from exposure to Coronavirus (SARS-CoV-2) contained in cough-generated fluid particles. *Physics*. 2020, 2 (3), 340-351. [cit. 2021-08-30]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/342730874_Study_of_an_Air_Curtain_in_the_Context_of_Individual_Protection_from_Exposure_to_Coronavirus_SARS-CoV-2_Contained_in_Cough-Generated_Fluid_Particles
- [9] ROWE, Bertrand, André CANOSA, Jean M. DROUFFE a James B. A. Mitchell. *Simple quantitative assessment of the outdoor versus indoor airborne transmission of viruses and COVID-19*. *Environmental Research*. 2021, 198, 111189. [cit. 2021-09-02]. Dostupné z: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0013935121004837?token=A62AA021915829966D6D06851DE68CEFBF7D207D7B46769C19CD68AE803E04CBC6105DA96F6BDF99DC5F53A5B18C945&originRegion=eu-west-1&originCreation=20210902090212>

- [10] GUO, Luyao a kolektiv. *Study on the decay characteristics and transmission risk of respiratory viruses on the surface of objects*. Environmental Research. 2021, 194, 110716. [cit. 2021-09-02]. Dostupné z:
<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0013935121000104?token=5A24F18D1D3A663A5D26D10FAAE40DA5DEE71153F34EBAA99559DB17E22F02F8F6770A307920E7C5D5D3D09223036395&originRegion=eu-west-1&originCreation=20210902091437>
- [11] REZAEI, Majid a Roland R. NETZ. *Airborne virus transmission via respiratory droplets: Effects of droplet evaporation and sedimentation*. Current Opinion in Colloid & Interface Science. 2021, 55, 101471. [cit. 2021-09-02]. Dostupné z:
<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1359029421000558?token=1D03787515C7550A868278D2859314078293E9392EE38A3FB307DA7B52AD8EBD441A124B330A7283A6C7A4794E79E0E1&originRegion=eu-west-1&originCreation=20210902091706>
- [12] JU, Jerry, Leah BOISVERT a Yi ZUO. *Face masks against COVID-19: Standards, efficacy, testing and decontamination methods*. Advances in Colloid and Interface Science. 2021, 292 (32), 102435. [cit. 2021-08-24]. Dostupné z:
<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0001868621000762?token=365B2C594B1E723907D5F0641913C4EE8B0C6464E4540B166CFA8E65B3A1865FCCD07A90FC38E364773C102134BB0110&originRegion=eu-west-1&originCreation=20210827084046>
- [13] MORAVOVÁ, Veronika a kolektiv. *Analyza respirátorů dle norem*. [online]. Porta Medica ©29.4.2020. [cit. 2021-06-30]. Dostupné z:
<https://www.zdravotnickydenik.cz/wp-content/uploads/2020/04/Analyza-respiratoru-dle-norem-Porta-Medica.pdf>
- [14] INZEP CENTRUM. *Normy na respirátory a roušky aneb tajné zkratky FFP2, N95 a KN95*. ©2021 [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: <https://www.inzep.cz/informace-o-zbozi-a-normach/normy-na-respiratory-a-rouscky-aneb-tajemne-zkratky-ffp2-n95-a-kn95>
- [15] Santé. *What is the difference between level 1, 2 and 3 masks?* [online]. ©2021 [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: <https://sante-group.com/what-is-the-difference-between-level-1-2-3-masks/>
- [16] Ministerstvo průmyslu a obchodu. *Průvodce základy regulace obličejových masek, jakožto osobních ochranných prostředků a zdravotnických prostředků*. [online]. [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/rozcestnik/pro->

media/tiskove-zpravy/2021/1/Pruvodce-zaklady-regulace-oblicejovych-masek--jakozto-OOP-a-ZP.pdf

- [17] NIOSH. *NISH guide to the selection and use of particulate respirators*. [online]. ©6.6.2014. [cit. 2021-09-15]. Dostupné z: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/96-101/default.html>
- [18] BORAHEY, Mohammed. *An analytical model for the effective filtration efficiency of single and multiple face masks considering leakage*. *Chaos, Solitons & Fractals*. 2021, 152, 111466. [cit. 2022-01-26]. Dostupné z: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0960077921008201?token=C18351CB169F00DF6103E461EE10CC9BF1A050F66786DEB6905F15CDC67435FECB7513D401A52D8AB877A1CCD72BC46F&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220126124625>
- [19] MONJEZI, Mojdeh a Hamidreza JAMAATI. *The effects of face mask specifications on work of breathing and particle filtration efficiency*. *Medical Engineering & Physics*. 2021, 98 (36-43). [cit. 2022-01-26]. Dostupné z: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1350453321001144?token=1342C046F81139C013EDE1FDE98BBF595E60CE3294C10AA0EB75C07DBCE30F3089853306B8C50837C2760FAC40621694&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220126131914>
- [20] MILITKÝ, Jiří, Aravin Prince PERIYASAMY a Mohanapriya VENKATARAMAN, ed. *Textiles and their use in microbial protection: focus on COVID-19 and other viruses*. 1. vydání. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2021. Textile Institute professional publications. ISBN 978-0-367-69105-9.
- [21] SCOTT, Richard A., ed. *Textiles for protection*. 1. vydání. Cambridge: Woodhead, 2005. Woodhead publishing series in textiles, no. 44. ISBN 1-85573-921-6.
- [22] JIRSÁK, Oldřich a Klára KALINOVÁ. *Netkané textilie*. 1. vydání. Liberec: Technická univerzita, 2003. ISBN 80-7083-746-2.
- [23] MAHER, Blake a kolektiv. *A fluid mechanics explanation of the effectiveness of common materials for respiratory masks*. *International Journal of Infectious Diseases*. 2020, 99 (505-513). [cit. 2022-01-30]. Dostupné z: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1201971220306214?token=30701D8AFB8B8DBA016F7D53C399CFD10A7B41974D5DBBCE840E06FCD5848DC63570AEE6ED22C0B823F3114A21D5F3A&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220130141021>

- [24] TCHARKHTCHI, Abbas a kolektiv. *An overview of filtration efficiency through the masks: Mechanisms of the aerosols penetration*. Bioactive Materials. 2021, 6 (106-122). [cit. 2022-01-30]. Dostupné z:
<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2452199X20301481?token=FDC93E2A87AFA6DB4F99AEA4E94D6F425C36F06527D701F785E824AE5E6D32CEBB3D8EA4E1F8322B4727750D290B060C&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220130141719>
- [25] LI, Xia a kolektiv. *Wearing time and respiratory volume affect the filtration efficiency of masks against aerosols at different sizes*. Environmental Technology & Innovation. 2022, 25, 102165. [cit. 2022-01-30]. Dostupné z:
<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2352186421007720?token=58A96F5A49056927AE4C17C17C37BDA37FEA7A5B2BE683FC4771A8DD6E991A532F45FD7E3CD0DA56FBD62A0D3B6E4BDE&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220130163409>
- [26] ÁLVAREZ-ARENAS, Tomás E. Gómez, María FARIÑAS, Alba GINEL. *Fast and non-destructive ultrasonic test for face masks*. Ultrasonics. 2021, 117, 106556. [cit. 2022-02-9]. Dostupné z:
<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0041624X21001839?token=5DD0267CA1E3C5D23BB02A92CE6FE30B26D55B9B81B1335AE38903771140C22FA3E57CB25DD8B4251E7AC1FA67FD123F&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220209141339>
- [27] ZHANG, Zhenfang, Dongxiao JI, Haijun HE, Seeram RAMAKRISHNA. *Electrospun ultrafine fibers for advanced face masks*. Materials Science and Engineering: R: Reports. 2021, 143, 100594. [cit. 2022-02-9]. Dostupné z:
<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0927796X20300528?token=32FAF80D80B36D18F0A4BBF32B01A1DF72DA9CF1A25E546D884A3AFE7DC62DE17814426D0C8D04B8E7329A2CEB814A99&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220209140750>
- [28] LIAO, Mingrui a kolektiv. *A technical review of face mask wearing in preventing respiratory COVID-19 transmission*. Current Opinion in Colloid & Interface Science. 2021, 52, 101417. [cit. 2022-02-9]. Dostupné z:
<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1359029421000017?token=6EE0011F67BF2DB092E0E0AFDF2249CA3B52F7818BBB0444D38B8599F096937FBC7937119F98C038BC2BA201A7A23221&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220209143711>

- [29] XU, Yuanqiang a kolektiv. Micro/nanofibrous nonwovens with high filtration performance and radiative heat dissipation property for personal protective face mask. *Chemical Engineering Journal*. 2021, 423, 130175. [cit. 2022-02-11]. Dostupné z: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1385894721017605?token=4BCD0964355C668CD40B25649A8B2D3EE2CD78241BA6055731758BF58B35088441C73501459A96BC3DA15767CCEC6692&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220211094750>
- [30] CHUA, Ming Hui a kolektiv. *Face Masks in the New COVID-19 Normal: Materials, Testing, and Perspectives*. *Research*. 2020, 6 (1-40). [cit. 2022-02-11]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/343525331_Face_Masks_in_the_New_COVID-19_Normal_Materials_Testing_and_Perspectives
- [31] DAS, Sonali a kolektiv. *A comprehensive review of various categories of face masks resistant to Covid-19*. *Clinical Epidemiology and Global Health*. 2021, 12, 100835. [cit. 2022-02-11]. Dostupné z: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2213398421001433?token=E2A0E8AB9C55911538D46DA930989175A007CE9281713E4A6C8D64954E4F9F366B9D6C38F65EA11F26A6324A9326ADF7&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220212091741>
- [32] KRUIF, Cornelis a kolektiv. *Casein micelles and their internal structure*. *Advances in Colloid and Interface Science*. 2012, 171-172 (36-52). [cit. 2021-02-17]. Dostupné z: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S000186861200005X?token=DE36BDE1CD0FC049B9B73EB1E5FE41EE783A4942AC4E28E108FB4C93E358BFFCF57DD76013F9BC94566703F519C6B3F7&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220217132147>
- [33] WALSTRA, Pieter. Casein sub-micelles: do they exist? *International Dairy Journal*. 1999, 9, 3-6 (189-192). [cit. 2021-02-17]. Dostupné z: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S095869469900059X?token=AB298BC8744A73DEC6D4658454E8DC72D37F8B2917FED5C39A511341F0D4FB9863D784D89E0A11B27268DA6B673F85E5&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220217132420>

Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obrázek 1 Škála porovnání velikosti virů s dalších částic [30]..... | 12 |
| Obrázek 2 Schéma uspořádání virové částice: a - peploměry, b – membránový obal, c – molekula nukleové kyseliny, d – enzymy, e – kapsida [7] | 14 |
| Obrázek 3 Základní typy kapsid: 1 – kubická symetrie, 2 – spirální symetrie, 3 – komplexní symetrie [1] | 15 |
| Obrázek 4 Schéma měřicího stojanu pro posouzení průniku s použitím chloridu sodného: 1) generátor aerosolu | 23 |
| Obrázek 5 Schéma Sheffieldovi hlavy: 1) manometr 2) model hlavy 3) kanál do umělých plic | 24 |
| Obrázek 6 Schéma výroby melt-blown: 1) regulační ventil 2) rotometr 3) ohřívač vzduchu .. | 31 |
| Obrázek 7 Schéma výroby spun-bond: 1) extrudér 2) hubice 3) trysky 4) odtah vláken | 31 |
| Obrázek 8 Schéma výroby elektrostatického zvlákňování: 1) generátor 2) jehla 3) Taylorův kužel 4) trysková obast 5) nestabilní oblast 6) spodní elektroda [21] | 32 |
| Obrázek 9 Obličejové roušky a jejich vrstvení: | 33 |
| Obrázek 10 Respirátor a jeho vrstvení: a) respirátor bez ventilu b) respirátor s ventilem c) vrstvy respirátoru [31] | 34 |
| Obrázek 11 Schéma přístroje „AZA“: 1) generátor vodného aerosolu 2) přívod aerosolu 3) nádoba s odtahem vzduchu | 36 |
| Obrázek 12 Skenovací elektronová mikroskopie – „absolutní filtr“ | 37 |
| Obrázek 13 Graf - Průtok vzduchu 3-vrstvou zdravotnickou rouškou | 40 |
| Obrázek 14 Graf – Průtok vzduchu 4-vrstvým respirátorem FFP2 | 40 |
| Obrázek 15 Graf - Průtok vzduchu dvěma vrstvami netkané textilie | 41 |
| Obrázek 16 Graf - Průtok vzduchu pleteninou (50% bavlna, 50% polyester) | 42 |
| Obrázek 17 Graf - Průtok vzduchu tkaninou (50% bavlna, 50% polyester) | 42 |
| Obrázek 18 Graf – Průtok vzduchu Nano NT 01 | 43 |
| Obrázek 19 Graf – Průtok vzduchu netkanou textilií z POP (zelená 17 g/m ²)..... | 43 |
| Obrázek 20 Graf - průtok vzduchu textilním sendvičem S003 | 44 |
| Obrázek 21 Graf - Průtok vzduchu textilním sendvičem S009 | 45 |
| Obrázek 22 Vnitřní strukturu kaseinové micely [32] | 46 |
| Obrázek 23 Detekce kaseinu kyselinou dusičnou (vlevo původní vzorek, vpravo vzorek s obsahem kaseinu) | 47 |
| Obrázek 24 Detekce kaseinu hydroxidem draselným a modrou skalicí..... | 48 |

| | |
|---|----|
| Obrázek 25 Filtrační papír s červeně značkováným kasein..... | 49 |
| Obrázek 26 Prostup obarveného kaseinu zdravotnickou rouškou: | 50 |
| Obrázek 27 Prostup kaseinu respirátorem: vlevo vnější strana, uprostřed vnitřní strana, vpravo absolutní filtr..... | 51 |
| Obrázek 28 Prostup značkováného kaseinu Nano NT 01..... | 51 |
| Obrázek 29 Prostup značkováného kaseinu textilním sendvičem S005..... | 52 |
| Obrázek 30 Prostup značkováného kaseinu textilním sendvičem S011..... | 52 |
| Obrázek 31 Graf - Kalibrace – absorbční maxima | 54 |
| Obrázek 32 Kalibrace - koncentrace roztoků | 54 |

Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| Tabulka 1 Technické parametry k jednotlivým typům respirátorů dle norem [13]..... | 22 |
| Tabulka 2 Popis textilního materiálu | 38 |
| Tabulka 3 Označení a popis textilního materiálu pro textilní sendviče..... | 38 |
| Tabulka 4 Vrstvy textilních sendvičů | 39 |

Seznam příloh

| | |
|--|----|
| Příloha 1 Tabulka naměřených průměrů vláken absolutního filtru | 66 |
| Příloha 2 Tabulka - Detekce první změny průtoku vzduchu | 67 |
| Příloha 3 Grafy tkanin a pletenin – průtok vzduchu | 68 |
| Příloha 4 Grafy textilních sendvičů – průtok vzduchu | 70 |

Příloha 1 Tabulka naměřených průměrů vláken absolutního filtru

| Počet měření | Průměr vláken [μm] |
|--------------|---------------------------------|
| 1 | 0,350 |
| 2 | 0,253 |
| 3 | 0,28 |
| 4 | 0,217 |
| 5 | 0,218 |
| 6 | 0,339 |
| 7 | 0,228 |
| 8 | 0,201 |
| 9 | 0,282 |
| 10 | 0,234 |
| 11 | 0,382 |
| 12 | 0,316 |
| 13 | 0,308 |
| 14 | 0,339 |
| 15 | 0,376 |
| 16 | 0,440 |
| 17 | 0,220 |
| 18 | 0,249 |
| 19 | 0,192 |
| 20 | 0,245 |
| 21 | 0,260 |
| 22 | 0,481 |
| 23 | 0,278 |
| 24 | 0,232 |
| 25 | 0,270 |
| 26 | 0,292 |
| 27 | 0,287 |
| 28 | 0,278 |
| 29 | 0,315 |
| 30 | 0,382 |
| 31 | 0,292 |
| 32 | 0,387 |
| 33 | 0,352 |
| 34 | 0,394 |
| 35 | 0,315 |
| 36 | 0,413 |
| 37 | 0,218 |
| 38 | 0,270 |
| 39 | 0,251 |
| 40 | 0,255 |

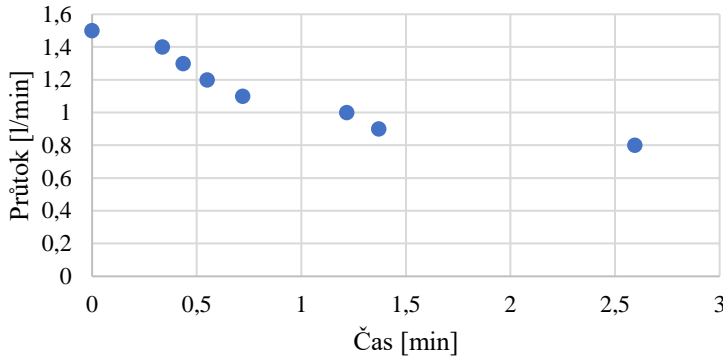
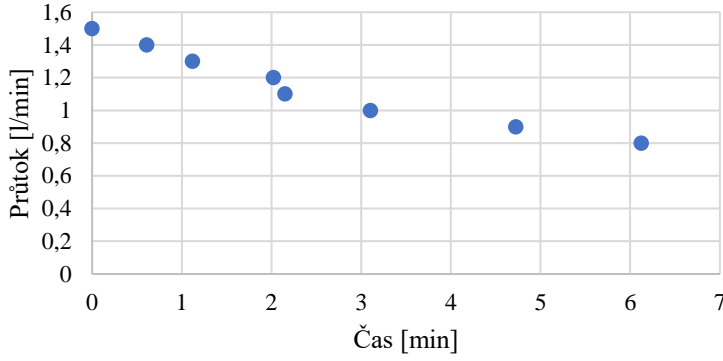
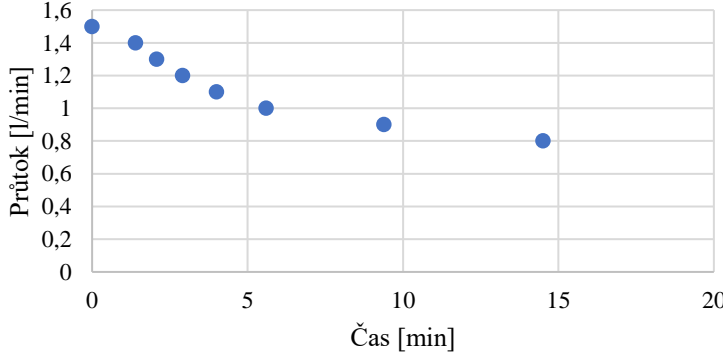
| Počet měření | Průměr vláken [μm] |
|--------------|---------------------------------|
| 41 | 0,266 |
| 42 | 0,413 |
| 43 | 0,324 |
| 44 | 0,268 |
| 45 | 0,217 |
| 46 | 0,329 |
| 47 | 0,395 |
| 48 | 0,408 |
| 49 | 0,245 |
| 50 | 0,255 |

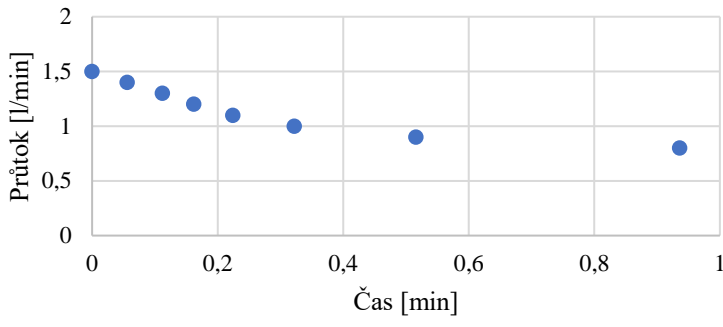
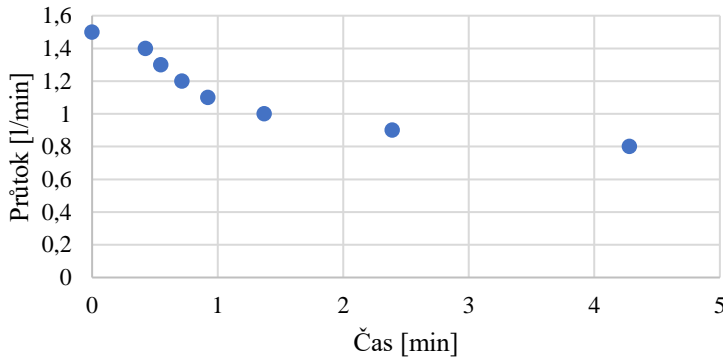
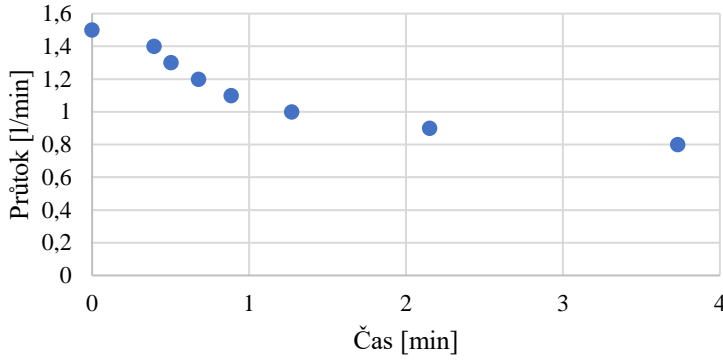
| | |
|----------------------------|--------|
| Průměr | 0,300 |
| Směrodatná odchylka | 0,070 |
| Variační koeficient | 23,252 |
| Min hodnota | 0,192 |
| Max hodnota | 0,481 |
| IS dolní | 0,281 |
| IS horní | 0,320 |
| Nejistota | 0,010 |

Příloha 2 Tabulka - Detekce první změny průtoku vzduchu

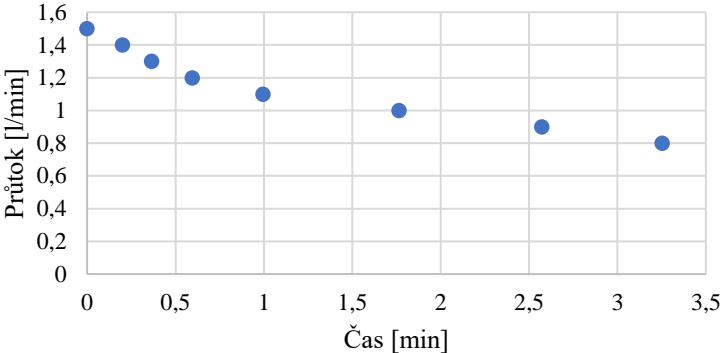
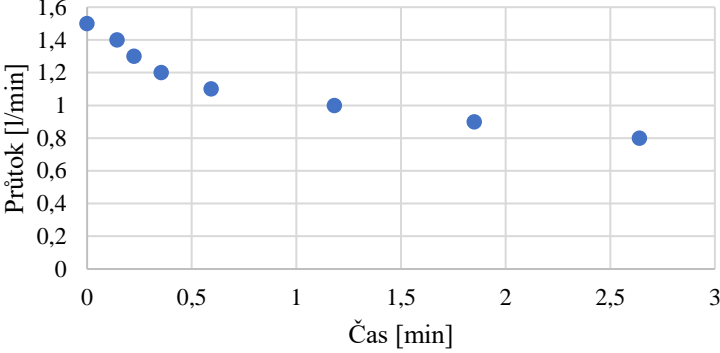
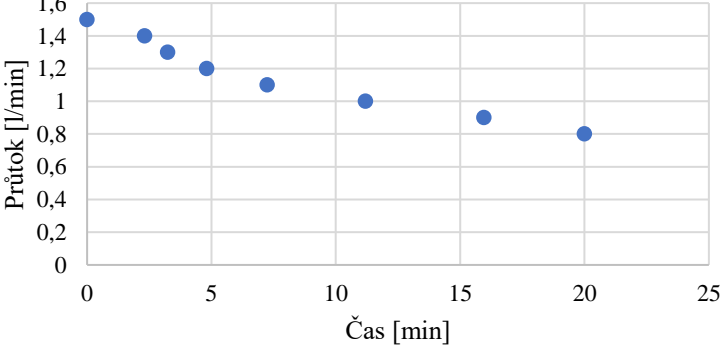
| Textilní materiál | | Čas [min] | Průtok [l/min] |
|--|----------------|------------------|-----------------------|
| Rouška | Vnější vrstva | 0,08 | 1,4 |
| | Střední vrstva | 20,00 | 1,47 |
| | vnitřní vrstva | 0,03 | 1,4 |
| Respirátor | Vnější vrstva | 0,10 | 1,4 |
| | Nosná vrstva | 0,15 | 1,4 |
| | Střední vrstva | 20,00 | 1,47 |
| | vnitřní vrstva | 0,12 | 1,4 |
| Tkanina (50% bavlna, 50% polyester) | | 0,76 | 1,4 |
| Tkanina (100% akryl) | | 0,34 | 1,4 |
| Pletenina (100% bavlna) | | 0,61 | 1,4 |
| Pletenina (50% bavlna, 50% polyester) | | 0,48 | 1,4 |
| Pletenina (95% viskóza, 5% polyuretan) | | 1,40 | 1,4 |
| Pletenina (94% polyester, 6% polyuretan) | | 0,06 | 1,4 |
| Pletenina (51% polyester, 49% bavlna) | | 0,42 | 1,4 |
| Pletenina (61% bavlna, 39% polyester) | | 0,39 | 1,4 |
| NT nano 01 | | 20,00 | 1,49 |
| NT zelená | | 0,20 | 1,4 |
| NT bílá | | 0,14 | 1,4 |
| S001 | | 2,32 | 1,4 |
| S002 | | 0,50 | 1,4 |
| S003 | | 2,75 | 1,4 |
| S004 | | 1,09 | 1,4 |
| S007 | | 1,88 | 1,4 |
| S008 | | 1,49 | 1,4 |
| S009 | | 1,43 | 1,4 |
| S010 | | 1,90 | 1,4 |
| S013 | | 0,95 | 1,4 |
| S014 | | 0,72 | 1,4 |
| S015 | | 1,36 | 1,4 |
| S016 | | 0,97 | 1,4 |
| S019 | | 1,22 | 1,4 |
| S020 | | 1,19 | 1,4 |
| S021 | | 1,35 | 1,4 |
| S022 | | 1,41 | 1,4 |

Příloha 3 Grafy tkanin a pletenin – průtok vzduchu

| <p>Tkanina 100% akryl</p> | <p>Tkanina - 100% akryl</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Čas [min]</th> <th>Průtok [l/min]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>0.25</td><td>1.4</td></tr> <tr><td>0.5</td><td>1.3</td></tr> <tr><td>0.75</td><td>1.2</td></tr> <tr><td>1.0</td><td>1.1</td></tr> <tr><td>1.25</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>1.5</td><td>0.9</td></tr> <tr><td>2.5</td><td>0.8</td></tr> </tbody> </table> | Čas [min] | Průtok [l/min] | 0 | 1.5 | 0.25 | 1.4 | 0.5 | 1.3 | 0.75 | 1.2 | 1.0 | 1.1 | 1.25 | 1.0 | 1.5 | 0.9 | 2.5 | 0.8 |
|--|--|-----------|----------------|---|-----|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|-----|
| Čas [min] | Průtok [l/min] | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 1.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.25 | 1.4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.5 | 1.3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.75 | 1.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.0 | 1.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.25 | 1.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.5 | 0.9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.5 | 0.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Pletenina 100% bavlna</p> | <p>Pletenina - 100% bavlna</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Čas [min]</th> <th>Průtok [l/min]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>0.5</td><td>1.4</td></tr> <tr><td>1.0</td><td>1.3</td></tr> <tr><td>1.5</td><td>1.2</td></tr> <tr><td>2.0</td><td>1.1</td></tr> <tr><td>3.0</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>4.5</td><td>0.9</td></tr> <tr><td>6.0</td><td>0.8</td></tr> </tbody> </table> | Čas [min] | Průtok [l/min] | 0 | 1.5 | 0.5 | 1.4 | 1.0 | 1.3 | 1.5 | 1.2 | 2.0 | 1.1 | 3.0 | 1.0 | 4.5 | 0.9 | 6.0 | 0.8 |
| Čas [min] | Průtok [l/min] | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 1.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.5 | 1.4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.0 | 1.3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.5 | 1.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.0 | 1.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.0 | 1.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.5 | 0.9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6.0 | 0.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Pletenina 95% viskóza, 5% polyuretan</p> | <p>Pletenina - 95% viskóza, 5% polyuretan</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Čas [min]</th> <th>Průtok [l/min]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>1.0</td><td>1.4</td></tr> <tr><td>2.0</td><td>1.3</td></tr> <tr><td>3.0</td><td>1.2</td></tr> <tr><td>4.0</td><td>1.1</td></tr> <tr><td>6.0</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>9.0</td><td>0.9</td></tr> <tr><td>15.0</td><td>0.8</td></tr> </tbody> </table> | Čas [min] | Průtok [l/min] | 0 | 1.5 | 1.0 | 1.4 | 2.0 | 1.3 | 3.0 | 1.2 | 4.0 | 1.1 | 6.0 | 1.0 | 9.0 | 0.9 | 15.0 | 0.8 |
| Čas [min] | Průtok [l/min] | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 1.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.0 | 1.4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.0 | 1.3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.0 | 1.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.0 | 1.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6.0 | 1.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9.0 | 0.9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15.0 | 0.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

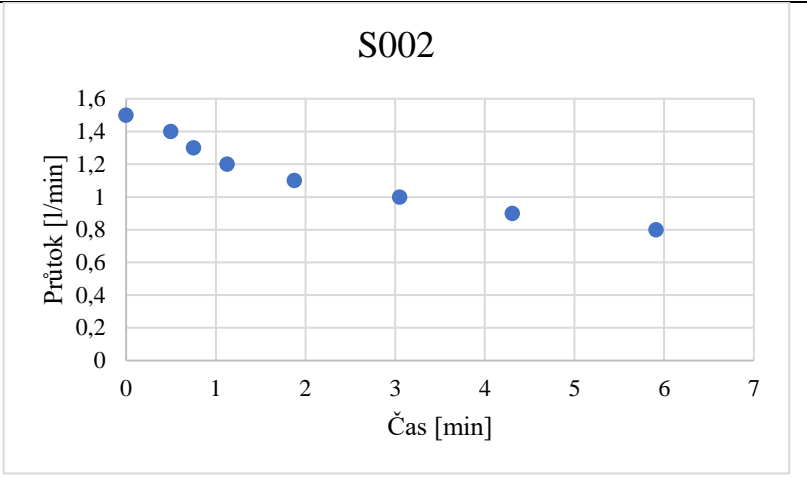
| <p style="text-align: center;">Pletenina 94% polyester, 6% polyuretan</p> | <p style="text-align: center;">Pletenina - 94% polyester, 6% polyuretan</p>  <table border="1" data-bbox="654 313 1380 638"> <thead> <tr> <th>Čas [min]</th> <th>Průtok [l/min]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>0.05</td><td>1.4</td></tr> <tr><td>0.1</td><td>1.3</td></tr> <tr><td>0.15</td><td>1.2</td></tr> <tr><td>0.2</td><td>1.1</td></tr> <tr><td>0.3</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>0.5</td><td>0.9</td></tr> <tr><td>0.95</td><td>0.8</td></tr> </tbody> </table> | Čas [min] | Průtok [l/min] | 0 | 1.5 | 0.05 | 1.4 | 0.1 | 1.3 | 0.15 | 1.2 | 0.2 | 1.1 | 0.3 | 1.0 | 0.5 | 0.9 | 0.95 | 0.8 |
|--|---|-----------|----------------|---|-----|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|
| Čas [min] | Průtok [l/min] | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 1.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.05 | 1.4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.1 | 1.3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.15 | 1.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.2 | 1.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.3 | 1.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.5 | 0.9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.95 | 0.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p style="text-align: center;">Pletenina 51% polyester, 49% bavlna</p> | <p style="text-align: center;">Pletenina - 51% polyester, 49% bavlna</p>  <table border="1" data-bbox="654 761 1380 1120"> <thead> <tr> <th>Čas [min]</th> <th>Průtok [l/min]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>0.5</td><td>1.4</td></tr> <tr><td>0.7</td><td>1.3</td></tr> <tr><td>0.9</td><td>1.2</td></tr> <tr><td>1.2</td><td>1.1</td></tr> <tr><td>1.5</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>2.5</td><td>0.9</td></tr> <tr><td>4.5</td><td>0.8</td></tr> </tbody> </table> | Čas [min] | Průtok [l/min] | 0 | 1.5 | 0.5 | 1.4 | 0.7 | 1.3 | 0.9 | 1.2 | 1.2 | 1.1 | 1.5 | 1.0 | 2.5 | 0.9 | 4.5 | 0.8 |
| Čas [min] | Průtok [l/min] | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 1.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.5 | 1.4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.7 | 1.3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.9 | 1.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.2 | 1.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.5 | 1.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.5 | 0.9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.5 | 0.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p style="text-align: center;">Pletenina 39% polyester, 61% bavlna</p> | <p style="text-align: center;">Pletenina - 39% polyester, 61% bavlna</p>  <table border="1" data-bbox="654 1254 1380 1612"> <thead> <tr> <th>Čas [min]</th> <th>Průtok [l/min]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>0.5</td><td>1.4</td></tr> <tr><td>0.7</td><td>1.3</td></tr> <tr><td>0.9</td><td>1.2</td></tr> <tr><td>1.2</td><td>1.1</td></tr> <tr><td>1.5</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>2.2</td><td>0.9</td></tr> <tr><td>3.7</td><td>0.8</td></tr> </tbody> </table> | Čas [min] | Průtok [l/min] | 0 | 1.5 | 0.5 | 1.4 | 0.7 | 1.3 | 0.9 | 1.2 | 1.2 | 1.1 | 1.5 | 1.0 | 2.2 | 0.9 | 3.7 | 0.8 |
| Čas [min] | Průtok [l/min] | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 1.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.5 | 1.4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.7 | 1.3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.9 | 1.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.2 | 1.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.5 | 1.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.2 | 0.9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.7 | 0.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Příloha 4 Grafy textilních sendvičů – průtok vzduchu

| <p>NT zelená</p> | <p style="text-align: center;">NT zelená</p>  <table border="1" data-bbox="651 338 1374 689"> <caption>Data for NT zelená</caption> <thead> <tr> <th>Čas [min]</th> <th>Průtok [l/min]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>0.2</td><td>1.4</td></tr> <tr><td>0.4</td><td>1.3</td></tr> <tr><td>0.6</td><td>1.2</td></tr> <tr><td>1.0</td><td>1.1</td></tr> <tr><td>1.8</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>2.6</td><td>0.9</td></tr> <tr><td>3.3</td><td>0.8</td></tr> </tbody> </table> | Čas [min] | Průtok [l/min] | 0 | 1.5 | 0.2 | 1.4 | 0.4 | 1.3 | 0.6 | 1.2 | 1.0 | 1.1 | 1.8 | 1.0 | 2.6 | 0.9 | 3.3 | 0.8 |
|--|---|-----------|----------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Čas [min] | Průtok [l/min] | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 1.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.2 | 1.4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.4 | 1.3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.6 | 1.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.0 | 1.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.8 | 1.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.6 | 0.9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.3 | 0.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>NT bílá</p> | <p style="text-align: center;">NT bílá</p>  <table border="1" data-bbox="651 833 1374 1184"> <caption>Data for NT bílá</caption> <thead> <tr> <th>Čas [min]</th> <th>Průtok [l/min]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>0.2</td><td>1.4</td></tr> <tr><td>0.4</td><td>1.3</td></tr> <tr><td>0.6</td><td>1.1</td></tr> <tr><td>1.2</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>1.8</td><td>0.9</td></tr> <tr><td>2.7</td><td>0.8</td></tr> </tbody> </table> | Čas [min] | Průtok [l/min] | 0 | 1.5 | 0.2 | 1.4 | 0.4 | 1.3 | 0.6 | 1.1 | 1.2 | 1.0 | 1.8 | 0.9 | 2.7 | 0.8 | | |
| Čas [min] | Průtok [l/min] | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 1.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.2 | 1.4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.4 | 1.3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.6 | 1.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.2 | 1.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.8 | 0.9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.7 | 0.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Textilní sendvič S001</p> <ul style="list-style-type: none"> - JC1115-VB - NT zelená | <p style="text-align: center;">S001</p>  <table border="1" data-bbox="651 1328 1374 1680"> <caption>Data for S001</caption> <thead> <tr> <th>Čas [min]</th> <th>Průtok [l/min]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>2</td><td>1.4</td></tr> <tr><td>3</td><td>1.3</td></tr> <tr><td>5</td><td>1.2</td></tr> <tr><td>7</td><td>1.1</td></tr> <tr><td>11</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>16</td><td>0.9</td></tr> <tr><td>20</td><td>0.8</td></tr> </tbody> </table> | Čas [min] | Průtok [l/min] | 0 | 1.5 | 2 | 1.4 | 3 | 1.3 | 5 | 1.2 | 7 | 1.1 | 11 | 1.0 | 16 | 0.9 | 20 | 0.8 |
| Čas [min] | Průtok [l/min] | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 1.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 1.4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 1.3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 1.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 1.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | 1.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | 0.9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 0.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

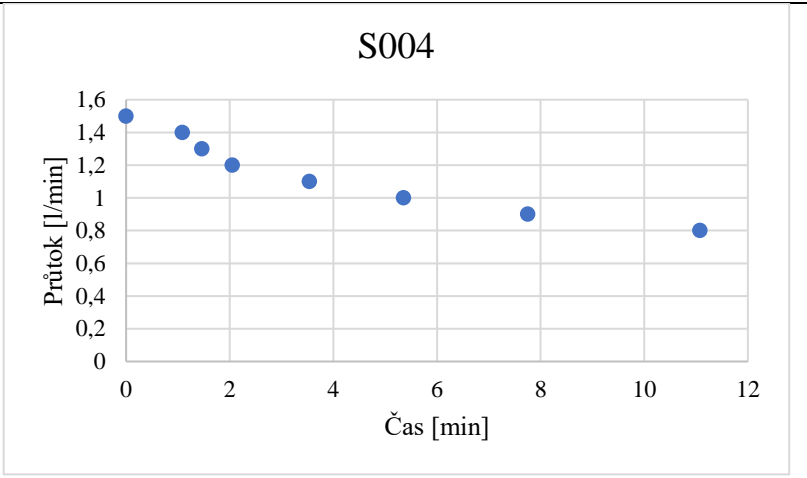
Textilní sendvič S002

- JC1115-VB
- NT bílá



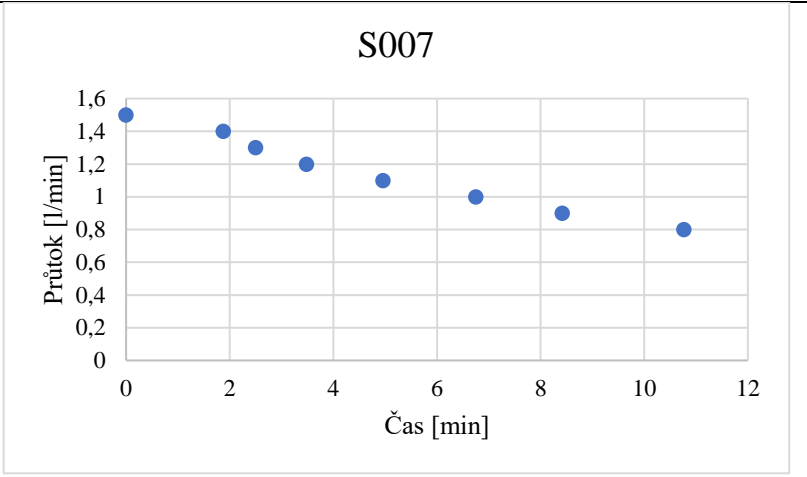
Textilní sendvič S004

- JC1115-VB
- NT bílá
- VR-007



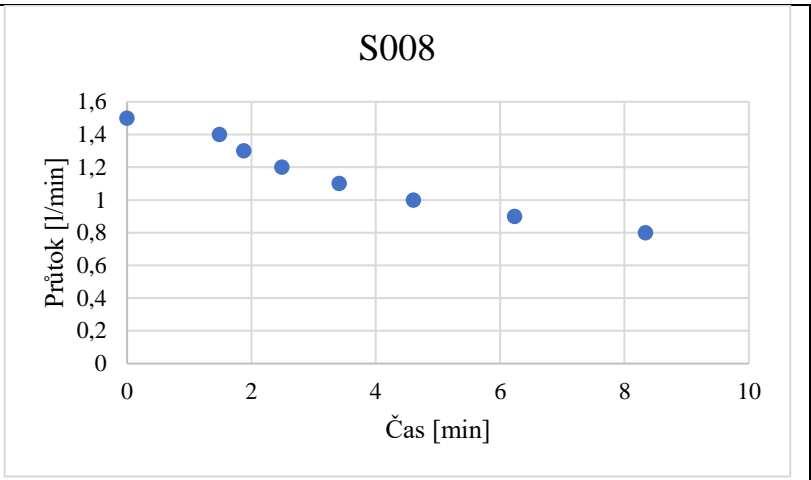
Textilní sendvič S007

- JB331-VB
- NT zelená



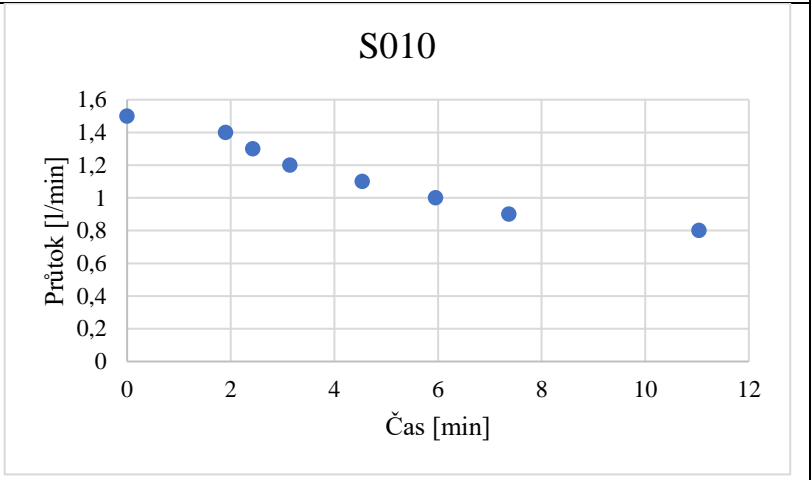
Textilní sendvič S008

- **JB331-VB**
- **NT bílá**



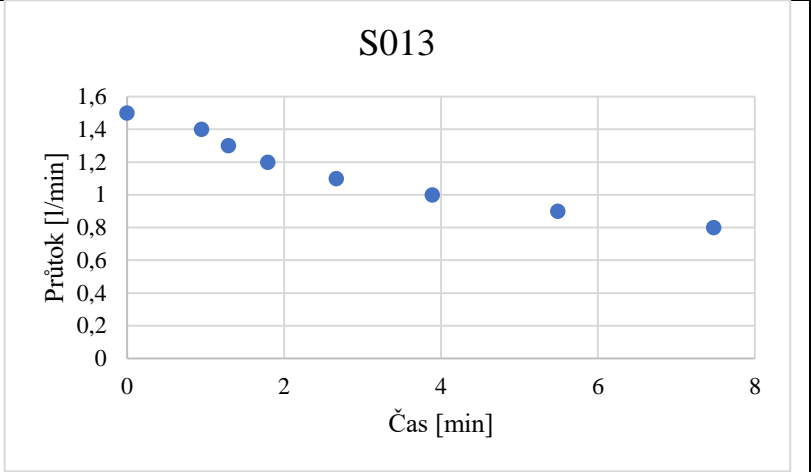
Textilní sendvič S010

- **JB331-VB**
- **NT bílá**
- **VR-007**



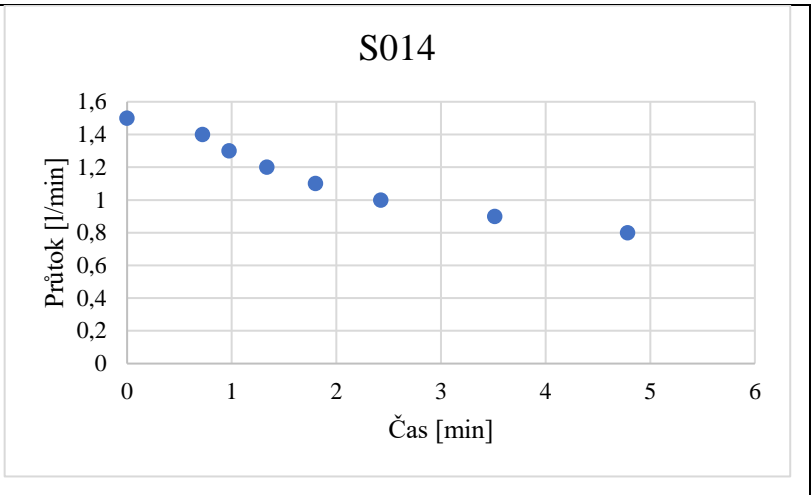
Textilní sendvič S013

- **VR-002**
- **NT zelená**



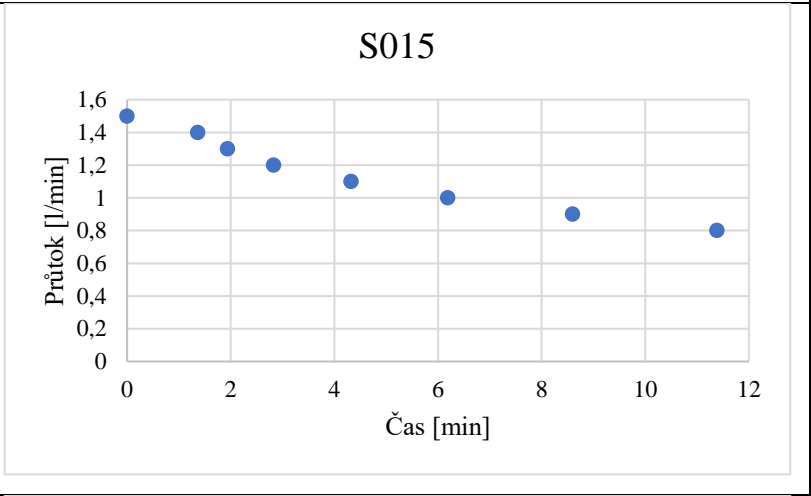
Textilní sendvič S014

- VR-002
- NT bílá



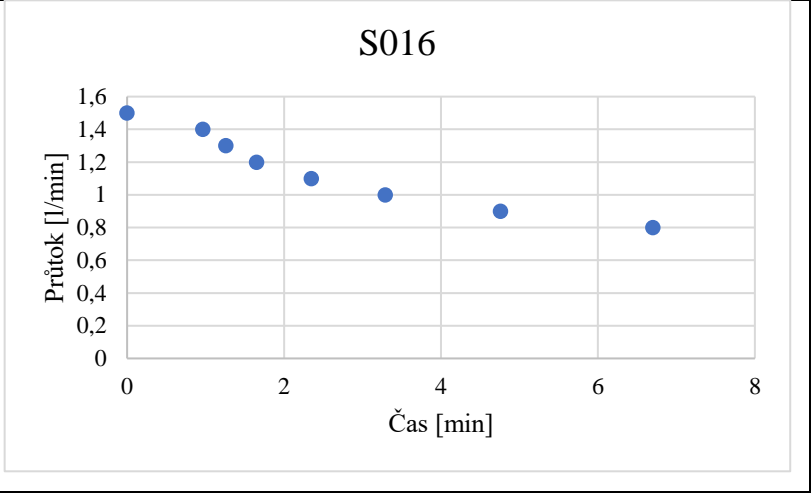
Textilní sendvič S015

- VR-002
- NT zelená
- VR-007



Textilní sendvič S016

- VR-002
- NT bílá
- VR-007



| <p>Textilní sendvič S019</p> <ul style="list-style-type: none"> - VR-006 - NT zelená | <p style="text-align: center;">S019</p> <table border="1"> <caption>Data for S019</caption> <thead> <tr> <th>Čas [min]</th> <th>Průtok [l/min]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>1</td><td>1.4</td></tr> <tr><td>1.5</td><td>1.3</td></tr> <tr><td>2.5</td><td>1.2</td></tr> <tr><td>3.5</td><td>1.1</td></tr> <tr><td>5</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.9</td></tr> <tr><td>9.5</td><td>0.8</td></tr> </tbody> </table> | Čas [min] | Průtok [l/min] | 0 | 1.5 | 1 | 1.4 | 1.5 | 1.3 | 2.5 | 1.2 | 3.5 | 1.1 | 5 | 1.0 | 7 | 0.9 | 9.5 | 0.8 |
|---|--|-----------|----------------|---|-----|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|-----|-----|
| Čas [min] | Průtok [l/min] | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 1.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 1.4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.5 | 1.3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.5 | 1.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.5 | 1.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 1.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 0.9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9.5 | 0.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Textilní sendvič S020</p> <ul style="list-style-type: none"> - VR-006 - NT bílá | <p style="text-align: center;">S020</p> <table border="1"> <caption>Data for S020</caption> <thead> <tr> <th>Čas [min]</th> <th>Průtok [l/min]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>1</td><td>1.4</td></tr> <tr><td>1.5</td><td>1.3</td></tr> <tr><td>2.5</td><td>1.2</td></tr> <tr><td>3.5</td><td>1.1</td></tr> <tr><td>5</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.9</td></tr> <tr><td>7.5</td><td>0.8</td></tr> </tbody> </table> | Čas [min] | Průtok [l/min] | 0 | 1.5 | 1 | 1.4 | 1.5 | 1.3 | 2.5 | 1.2 | 3.5 | 1.1 | 5 | 1.0 | 7 | 0.9 | 7.5 | 0.8 |
| Čas [min] | Průtok [l/min] | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 1.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 1.4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.5 | 1.3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.5 | 1.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.5 | 1.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 1.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 0.9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7.5 | 0.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Textilní sendvič S021</p> <ul style="list-style-type: none"> - VR-006 - NT zelená - VR-007 | <p style="text-align: center;">S021</p> <table border="1"> <caption>Data for S021</caption> <thead> <tr> <th>Čas [min]</th> <th>Průtok [l/min]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>1</td><td>1.4</td></tr> <tr><td>1.5</td><td>1.3</td></tr> <tr><td>2.5</td><td>1.2</td></tr> <tr><td>3.5</td><td>1.1</td></tr> <tr><td>5</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>7.5</td><td>0.9</td></tr> <tr><td>11</td><td>0.8</td></tr> </tbody> </table> | Čas [min] | Průtok [l/min] | 0 | 1.5 | 1 | 1.4 | 1.5 | 1.3 | 2.5 | 1.2 | 3.5 | 1.1 | 5 | 1.0 | 7.5 | 0.9 | 11 | 0.8 |
| Čas [min] | Průtok [l/min] | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 1.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 1.4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.5 | 1.3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.5 | 1.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.5 | 1.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 1.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7.5 | 0.9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | 0.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Textilní sendvič S022

- **VR-006**
- **NT bílá**
- **VR-007**

