

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
УНИВЕРЗИТЕТ ОДБРАНЕ У БЕОГРАДУ
ВОЈНА АКАДЕМИЈА

**ИСТРАЖИВАЊЕ ЕФИКАСНОСТИ
СРЕДСТАВА ЛИЧНЕ РЕСПИРАТОРНЕ ЗАШТИТЕ
У ОДНОСУ НА БИОЛОШКЕ АГЕНСЕ**

- докторска дисертација -

Ментор:
редовни професор
др Душан Рајић

Кандидат:
капетан
мр Негован Д. Иванковић

Београд, 2015. године

MINISTRY OF DEFENCE
UNIVERSITY OF DEFENCE IN BELGRADE
MILITARY ACADEMY

**EXAMINATION OF EFFICIENCY
OF PERSONAL RESPIRATORY PROTECTION MEANS
IN RELATION TO BIOLOGICAL AGENTS**

- PhD thesis -

Mentor:
professor
Dusan Rajic, PhD

Candidate:
captain
Negovan D. Ivanković, MSc

Belgrade, 2015

ЗАХВАЛНОСТ

Докторска дисертација је резултат истраживачког рада у сврху утврђивања ефикасности заштите и физиолошке подобности средстава личне респираторне заштите филтрирајућег типа за заштиту свих припадника Министарства одбране и Војске Србије, у мирнодопским и борбеним условима, од контаминације биолошким агенсима путем дисајних органа. Дисертација је урађена на Војној академији Универзитета одбране у Београду и обухвата истраживања у области епидемиологије, личне НХБ заштите и технологије филтрирања филтрирајућим материјалима.

Истраживања за потребе ове дисертације реализована су у оквиру научноистраживачког пројекта ТР 34034 Министарства просвете, науке и технолошког развоја под називом: „Примена наноматеријала у унапређењу средстава респираторне и перкутане заштите у условима еколошког дисбаланса изазваног радиоактивном, хемијском и биолошком контаминацијом“. Пројектом је руководио редовни професор др Душан Рајић, а спроведен је кроз сарадњу Војнотехничког института, Технолошко-металуришког факултета и Војне академије.

Овом приликом желим да се захвалим следећим лицима:

- ментору, редовном професору др Душану Рајићу, који је неуморно пратио и усмеравао мој научноистраживачки рад, несебично пружао помоћ, подршку, разумевање и охрабрење при свим проблемима на које смо заједно наилазили,*
- пуковнику доценту др Злате Величковићу, потпуковнику ванредном професору др Радовану Каркалићу и свим колегама из Катедре Војнохемијског инжењерства на указаној стручној и моралној подршци током израде дисертације,*
- потпуковнику мр Жељку Сенићу, ВС Марини Илић и свим сарадницима из Сектора за материјале и заштиту Војнотехничког института у Београду, на великом ентузијазму и помоћи у извођењу експерименталног дела истраживања,*
- Николи Вуковићу и Жељку Радовановићу на стручности и помоћи при снимању узорака филтрирајућих материјала скенирајућом електронском микроскопијом,*
- свим пријатељима који су ми на било који начин помогли у изради ове дисертације,*
- родитељима, сестрама са породицама и свој родбини, на сталној помоћи и безрезервној подршци.*

Нема довољно речи којима бих могао да захвалим својој супрузи Јасмини, ћерки Христини и сину Петру, за неизмерну љубав и разумевање, стрпљење и подршку за испуњење овако великог циља. Знам да сам им много недостајао, иако сам у мислима увек био са њима. Слава Господу Богу, Пресветој Богородици и свим светитељима, за милост и снагу коју нам подарише да заједно, као породица, овај циљ постигнемо.

Београд, мај 2015.

А у т о р

**Комисија за оцену и одбрану
докторске дисертације:**

Ментор:

др Душан Рајић, редовни професор
Иновациони центар
Технолошко-металуршког факултета,
Универзитет у Београду

Чланови комисије:

генерал-мајор
др Младен Вуруна, ванредни професор
Војна академија, Универзитет Одбране

пуковник
др Злате Величковић, доцент
Војна академија, Универзитет Одбране

потпуковник
др Владан Радосављевић, ванредни професор
Војна академија, Универзитет одбране

потпуковник
др Радован Каркалић, ванредни професор
Војна академија, Универзитет одбране

ИСТРАЖИВАЊЕ ЕФИКАСНОСТИ СРЕДСТАВА ЛИЧНЕ РЕСПИРАТОРНЕ ЗАШТИТЕ У ОДНОСУ НА БИОЛОШКЕ АГЕНСЕ

капетан
мр Негован Иванковић

Извод

Предмет докторске дисертације представља истраживање ефикасности заштите и физиолошке подобности средстава личне респираторне заштите филтрирајућег типа (војних и цивилних) за заштиту свих припадника Министарства одбране (МО) и Војске Србије (ВС) од дејства биолошких агенаса у мирнодопским и борбеним условима.

Потреба за истраживањем је настала као резултат стално присутне претње по људско здравље и животну средину од могуће контаминације биолошким агенсима и токсинима. Преношење овако узрокованих заразних болести је најчешће путем ваздуха преко дисајних органа, па мере респираторне заштите представљају једне од основних мера превентиве. У МО и ВС као формацијско средство личне респираторне заштите се користи заштитна маска (ЗМ), док се у цивилству за респираторну заштиту најчешће користе филтрирајуће полумаске (ФФ).

Сходно томе, у циљу стицања поуздане потврде ефикасности заштите и физиолошке подобности наведених заштитних средстава за очување здравља људства и високе оперативне способности војних састава у случају контаминације биолошким агенсима и токсинима, извршена су испитивања пропуштања аеросола контаминанта према унутрашњости заштитних средстава, ефикасности и динамике филтрирања аеросола контаминанта кроз филтрирајући медијум и отпора средства при удисању.

Експериментални део истраживања је спроведен кроз лабораторијска испитивања у Одељењу за хемијску и нуклеарну заштиту Сектора за материјале и заштиту Војнотехничког института у Београду, а карактеризација узорака филтрирајућих материјала скенирајућом електронском микроскопијом у лабораторији Катедре за неорганску хемијску технологију Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду. Методологија испитивања, експерименталне процедуре и апаратуре коришћене у овом истраживању засноване су на важећим европским и домаћим стандардима којима се регулише комплетан процес извођења испитивања.

За потребе наведених испитивања су коришћени узорци прикључака за дисање и комбинованих филтера (КФ) који су саставни делови комплета заштитне маске М2 (ЗМ М2), заштитне маске М2Ф (ЗМ М2Ф), заштитне маске М3 (ЗМ М3), као и узорци пет модела филтрирајуће полумаске - епидемиолошке маске (ЕМ1 и ЕМ2) и хируршких маске (ХМ1, ХМ2 и ХМ3).

При испитивању пропуштања аеросола контаминанта према унутрашњости заштитних средстава, као и ефикасности и динамике филтрирања аеросола контаминанта кроз филтрирајући медијум, за тест супстанцу и адекватан физички симулатор аеросола биолошких агенаса и токсина коришћен је чврсти аеросол NaCl чија гранулометријска расподела величине честица испуњава услове за његову подобност као симулатора. Одређивање концентрације ових аеросола вршено је методом пламене фотометрије, а гранулометријска расподела електричним анализатором честица. Отпор узорака испитиваних заштитних средстава при удисању мерен је диференцијалним воденим манометром.

Из резултата добијених експерименталним испитивањима закључено је:

- сви испитивани модели (изузев модела ХМЗ) су високо ефикасна средства заштите и врхунског квалитета израде пошто испуњавају најстрожије критеријуме ефикасности заштите дефинисане стандардима за ове врсте заштитних средстава,

- сходно резултатима испитивања и субјективним запажањима испитаника, по конструкцијском основу образине свих модела ЗМ и модел ФФ ХМ1 изузетно одговарају распону антропометријских димензија лица нашег становништва,

- сходно конструкционим и структурним особинама, у испитиваним моделима КФ су уграђени ефикаснији филтрирајући материјали и бољег квалитета у односу на оне уграђене у испитиване моделе ФФ, при чему се међу моделима КФ истичу модели М2Ф и МЗ, а међу моделима ФФ модели ХМ1 и ХМ2,

- већи комфор при употреби омогућавају ФФ, јер вредности отпора при удисању при оба испитна протока код свих узорака модела ФФ су знатно мање у односу на вредности отпора код свих узорака целокупног модела ЗМ,

- према субјективним запажањима испитаника међу моделима ЗМ највећи комфор обезбеђује модел МЗ, а међу моделима ФФ модел ХМ1,

- за темељну потврду квалитативних карактеристика било које врсте филтрирајућег медијума, неопходно је при различитим протоцима испитног аеросола вршити истовремено испитивање ефикасности филтрирања и промене отпора филтрирајућег материјала у зависности од времена филтрирања,

- да структурне карактеристике уграђених филтрирајућих материјала директно утичу да при већем протоку ваздуха разлике у вредностима отпора модела ЗМ буду мање изражене у односу на вредности отпора ФФ, односно да се код модела ФФ са филтрирајућим материјалима мање густине паковања смањује комфор због повећања отпора при повећању протока ваздуха.

У целини узев, употребом средстава респираторне заштите типа заштитна маска и филтрирајућа полумаска у случају контаминације биолошким агенсима и токсинима путем дисајних органа, могуће је уз одговарајућу физиолошку подобност обезбедити ефикасну заштиту свих припадника МО и ВС, уз истовремену њихову функционалну способност за извршење наменских задатака.

Филтрирајућа полумаска је физиолошки погоднија за употребу у односу на заштитну маску због малог отпора при удисању и ефикаснија у погледу спречавања ширења заразе у војној или било којој средини, јер врши филтрирање ваздуха у оба смера – и издахнутог и удахнутог, за разлику од заштитне маске која обезбеђује знатно већу ефикасност заштите, али само у једном смеру. Предложено је усвајање нових правилских одредби по питању коришћења средстава респираторне заштите у МО и ВС, којима би се уз употребу заштитне маске дефинисала употреба и филтрирајућих полумаски.

Кључне речи: респираторна заштита, заштитна маска, филтрирајућа полумаска, биолошки агенси и токсини, ефикасност заштите, физиолошка подобност.

EXAMINATION OF EFFICIENCY OF PERSONAL RESPIRATORY PROTECTION MEANS IN RELATION TO BIOLOGICAL AGENTS

captain
Negovan Ivankovic, MSc

Abstract

The subject of this dissertation is the examination of the protection effectiveness and physiological suitability of personal respiratory protection filtering type means (military and civilian) for protection of all members of the Ministry of Defence (MoD) and Serbian Armed Forces (SAF) from the effects of biological agents in peacetime and combat conditions.

The need for research is the result of ever-present threats to human health and the environment from the possible contamination by biological agents and toxins. The transfer of infectious diseases caused by them, is most often through the air, via respiratory organs, so respiratory protection measures therefore represent one of the basic preventive measures. At MoD and SAF is used military protective mask (ZM) as a formation device of personal respiratory protection, while for the civilian protection are most common used filtering half masks (FF).

Accordingly, in order to obtain reliable confirmation of the protection effectiveness and physiological suitability of the mentioned protective means for health care and high operational capability of military personnel in the case of contamination by biological agents and toxins, investigations of aerosol contaminant inward leakage towards the interior of protective means, efficiency and dynamics of aerosol contaminants filtration through filtration medium and inhalation resistance of means were done.

The experimental part of the research was conducted through laboratory testing at the Chemical and Nuclear Protection Department - Division of Materials and Protection of the Military Technical Institute in Belgrade, and characterization of filtration material samples by SEM technique in the laboratory of the Department of Inorganic Chemical Technology of the Technology and Metallurgy Faculty, University of Belgrade. The methodology of tests, experimental procedures and apparatus used in this examination are based on the relevant European and national standards which are regulating the entire process of tests performing.

For the purposes of previously mentioned tests are used samples of facepieces and combined filters that are integral parts of protective masks M2 (M2 ZM), protective mask M2F (ZM M2F) and protective masks M3 (ZM M3), as well as samples of five models of filtering half masks - epidemiological masks (EM1 and EM2) and surgical masks (HM1, HM2 and HM3).

In investigations of aerosol contaminant inward leakage towards the interior of protective means, as well as the efficiency and dynamics of aerosol contaminants filtration through filtration medium, for test substance and adequate physical simulator of aerosolized biological agents and toxins was used a solid NaCl aerosol whose granulometric particle size distribution meets the requirements for its suitability as simulator. Determination of the concentration of these aerosols was performed by flame photometry method, and granulometric distribution by electric particles analyzer. Inhalation resistance of tested samples of protective means was measured by a differential water manometer.

From the results obtained by experimental tests, it was concluded that:

- all tested models (except the HM3) are highly effective means of protection and top quality workmanship since they meet the strictest criteria of protection efficiency defined by standards for these types of protective means,
- according to the results of tests and subjective perceptions of respondents, on the basis of construction, the facepiece all models of ZM and model of filtering half masks HM1, exceptionally appropriate to range of anthropometric face dimensions of our population,

- according to constructional and structural properties, at the investigated models of combined filters (KF) are built-in more efficient filtration materials and better quality than those built-in test FF models, where among the KF models stand out models M2F and M3, and among the FF models stand out models HM1 and HM2,

- FF enable greater comfort when using, because the inhalation resistance values at both test flow rate for all samples of FF models are considerably less than the resistance values for all samples of the entire ZM model,

- according to subjective perceptions of respondents among the ZM models greatest comfort provide model M3, and among the models of FF model HM1,

- for a thorough confirmation of the qualitative characteristics of any type of filtration media, it is necessary to carry out, at various flow rates of the test aerosol, simultaneously testing the of filtration efficacy and change in filtration material resistance, in dependence on the filtration time,

- it was found that the structural characteristics of built-in filtration materials directly affect that differences in the inhalation resistance of ZM models are less pronounced at higher air flow in relation to the resistance values of FF, respectively that at FF models with filtration material of less packing density comfort reduces due to increased resistance in increasing airflow.

In general, by using of respiratory protection means type protective mask and filtering half-mask in case of respiratory organs contamination by biological agents, it is possible to ensure, with the appropriate physiological suitability, effective protection of all members of the MoD and SAF, and also their functional ability to perform specific tasks.

Filtering half mask is physiologically more suitable for use in relation to protective mask because of low inhalation resistance and more effective in preventing the spread of infection in the military or any other community, accordingly it is performing filtration of air in both directions - and exhaled and inhaled, unlike the protective mask, which provides much greater protection efficiency, but only in one direction. It is proposed adoption of new rolebook provisions regarding the use of respiratory protection means in MoD and SAF, which would define the use of filtering half masks as well as protective masks.

Keywords: *respiratory protection, protective mask, filtering half mask, biological agents and toxins, protection efficiency, physiological suitability.*

СКРАЋЕНИЦЕ

<i>A/H1N1</i>	Инфлуенца вирус типа А подтип H1N1
БО	Биолошко оружје
ВС	Војска Србије
ДНК	Дезоксирибонуклеинска киселина
ЗМ	Заштитна маска
<i>IDLH</i>	Концентрације тренутно опасне по живот или здравље (енгл. <i>Immediately Dangerous to Life or Health</i>)
КФ	Комбиновани филтар
МВД	Минутни волумен дисања
МО	Министарство одбране
НХБ	Нуклеара-хемијска-биолошка
<i>N</i>	Неураминидазин
ОХС	Отровне хемијске супстанце
<i>PAPR</i>	Филтрирајућ апарат на моторни погон или без (енгл. <i>Powered Air-Purifying Respirator</i>)
РНК	Рибонуклеинска киселина
<i>SARS</i>	Тешки акутни респираторни синдром (енгл. <i>Severe Acute Respiratory Syndrome</i>)
СЕМ	Скенирајућа електронска микроскопија (енгл. <i>Scanning Electron Microscopy</i>)
СЗО	Светска здравствена организација
СРЗ	Средства респираторне заштите
ХИД	Хумана инфективна доза
<i>H</i>	Хемаглутинин
ФФ	Филтрирајућа полумаска

СИМБОЛИ

<i>B</i>	Коефицијент пропорционалности [m^2]
<i>v</i>	Брзина струјања ваздуха [m/s]
<i>v</i>	Запремина плућне вентилације [m^3/s]
<i>V_a</i>	Запремина депонованих аеросола [m^3]
<i>V_u</i>	Укупна запремина ваздуха по свим могућностима проласка [m^3]
<i>V_c</i>	Запремина ваздуха који продире кроз филтрирајући медијум и елементе који су редно везани на њега [m^3]
<i>V_v</i>	Запремина ваздуха који продире кроз вентил издисаја [m^3]

V_z	Запремина ваздуха који продире по линији налегања прикључка за дисање [m^3]
g	Убрзање земљине теже [m/s^2]
e	Порозитет филтрирајућег материјала
K	Кофицијент капацитета [m^{-2}]
K_0	Коефицијент отпорности
k_0	Константа која зависи од карактеристика честица аеросола [s^{-1}]
L	Дужина пута ваздуха кроз филтрирајући материјал [m]
m	Маса [g]
n	Фреквенција дисања [min^{-1}]
η	Коефицијент вискозности ваздуха [Pa·s]
p	Отпор филтрирајућег материјала са депонованим аеросолима [Pa]
p_0	Отпор чистог филтрирајућег материјала [Pa]
Δp	Аеродинамички отпор филтрирајућег материјала [Pa]
P	Пропуштање [%]
r_k	Средњи дијаметар каналића међу влакнима [m]
SD	Стандардна девијација
$Sig.$	Статистичка значајност (енгл. <i>Significance</i>)
t	Време филтрирања [s]
t_{in}	Укупно трајање удисања [s]
t_{ex}	Укупно трајање издисања [s]
C_0	Концентрација аеросола испред филтрирајућег материјала (концентрација контаминанта у спољашној средини) [mg/m^3]
C_f	Концентрација аеросола иза филтрирајућег материјала [mg/m^3]
C_n	Концентрација контаминаната у мртвом простору средства због продирања по линији налегања [mg/m^3]
C_k	Концентрација контаминаната у мртвом простору средства због продирања кроз вентил издисаја [mg/m^3]
C_m	Укупна концентрација контаминанта у мртвом простору средства [mg/m^3]
Q	Запремински проток ваздуха [m^3/s]
ρ	Густина филтрирајућег материјала [kg/m^3]
\bar{X}	Аритметичка средина
W	Запремина мртвог простора заштитног средства [m^3]

САДРЖАЈ

УВОД	1
ТЕОРИЈСКИ ДЕО	6
1. Контаминација животне средине биолошким агенсима	6
2. Заштита органа за дисање	16
2.1. Развој средстава респираторне заштите филтрирајућег типа	17
2.2. Војна средства респираторне заштите филтрирајућег типа	20
2.2.1. Заштита респираторних органа у армијама света	22
2.2.2. Заштита респираторних органа у МО и ВС	24
2.3. Средства респираторне заштите филтрирајућег типа у цивилству	27
3. Механизам заштите код средстава респираторне заштите филтрирајућег типа	30
3.1. Филтрирање кроз филтрирајући материјал филтрирајућег медијума.....	31
3.1.1. Аеродинамички отпор и пад притиска	32
3.1.2. Ефикасност филтрирања	34
3.1.3. Утицај различитих фактора на продирање аеросолних честица кроз филтрирајући материјал.....	39
3.2. Начин остваривања респираторне заштите код заштитних маски и филтрирајућих полумаски	42
ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕО	48
4. Материјали и методе	48
4.1. Испитивање ефикасности заштите средстава респираторне заштите.....	49
4.1.1. Испитивање пропуштања према унутрашњости заштитних маски и филтрирајућих полумаски	51
4.1.2. Испитивање пропуштања кроз филтрирајући медијум	57
4.2. Испитивање физиолошке подобности средстава респираторне заштите	61
4.2.1. Испитивање отпора средстава респираторне заштите при удисању.....	61
4.2.2. Испитивање отпора комбинованог филтра при удисању	63
РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА	65
5. Резултати експерименталних испитивања	65
5.1. Резултати испитивања ефикасности заштите средстава респираторне заштите ..	65
5.1.1. Резултати испитивања пропуштања према унутрашњости.....	65
5.1.2. Резултати испитивања пропуштања кроз филтрирајући медијум.....	67
5.2. Резултати физиолошке подобности средстава респираторне заштите	71
5.2.1. Резултати испитивања отпора средстава респираторне заштите	71
5.2.2. Резултати испитивања отпора комбинованог филтра.....	74

6. Дискусија	76
6.1. Дискусија резултата испитивања ефикасности заштите средстава респираторне заштите	76
6.1.1. Дискусија резултата испитивања пропуштања према унутрашњости	76
6.1.2. Дискусија резултата испитивања пропуштања кроз филтрирајући медијум ..	79
6.2. Дискусија резултата испитивања физиолошке подобности средстава респираторне заштите	96
6.2.1. Дискусија резултата испитивања отпора средстава респираторне заштите...	97
6.2.2. Дискусија резултата испитивања отпора комбинованог филтра.....	101
ЗАКЉУЧАК.....	103
ЛИТЕРАТУРА.....	110
БИОГРАФИЈА АУТОРА	117

УВОД

Присуство биолошких агенаса у животној средини је неминовно, било да су природног порекла или производ људске делатности. Сведоци смо све чешћих епидемија у разним деловима света изазваних различитим типовима вируса инфлуенце насталих услед брзих мутација основног соја. Савремени технолошки напредак и нова научна сазнања, првенствено у области генетског инжењеринга, омогућавају веома брз развој и производњу све опаснијих биолошких агенаса. Сходно томе проширена је могућност настајања епидемија услед употребе биолошких агенаса као биолошког оружја (БО) у ратним сукобима или у терористичке сврхе. Ове забрињавајуће истине неопходно захтевају интензивност у истраживањима и развијању одговарајућих заштитних материјала и средстава, све у циљу предузимања адекватних мера превенције и заштите.

Заштита човека и животне средине од могуће контаминације биолошким агенсима је веома сложен процес услед низа проблема који настају због њихових специфичних карактеристика, као што су одложеност испољавања симптома, висока инфективност, тешкоће у идентификацији, одлагање или немогућност профилаксе, недостатак препарата за лечење, тешко сузбијање ширења инфекције, итд. Пошто се микроорганизми најефикасније распростиру кроз ваздух, најделотворнији начин излагања људског организма утицајима биоагенаса је удисањем контаминираног ваздуха. Стога се може претпоставити да ће највероватнија примена биолошких агенаса бити у облику аеросола.

Постоје бројни начини за примену превентивних мера за спречавање настанка и ширења епидемија и пандемија. Најефикаснија заштита људског организма била би са средствима потпуно изолационог типа. Пошто овај вид заштите није погодан за дужу примену (отежан манипулативни и интелектуални рад, физиолошки проблеми са функционисањем организма, итд.), неопходна је физиолошки далеко погоднија лична заштитна опрема у коју спадају и средства личне заштите филтрирајућег типа.

Према препорукама Светске здравствене организације (СЗО) у случајевима епидемија и пандемија, уз остале мере превентиве у заштити људског здравља, једна од основних јесте примена мера респираторне заштите. На индивидуалном нивоу заштита дисајних органа се остварује ношењем различитих типова средстава респираторне заштите филтрирајућег типа – заштитних маски, полумаски, четвртмаски или других физичких баријера.

У Војсци Србије се користи заштитна маска као формацијско средство личне респираторне заштите. Међутим, рад у војној средини у мирнодопским условима захтева потпуно и несметано вишечасовно обављање наменских задатака, што намеће потребу за применом софистицираних и комфорнијих средстава каква су нпр. филтрирајуће полумаске, које се иначе користе за заштиту цивилне популације у случају епидемије или пандемије. Потреба за физиолошки погоднијим средствима је посебно изражена код припадника Министарства одбране и Војске Србије (МО и ВС), где је веће физиолошко напрезање услед специфичности службе и захтева непрекидног функционисања како не би била нарушена оперативна способност комплетног система.

Сходно напред наведеним чињеницама, намеће се неопходност за систематизацијом и дубљом анализом појмова који су у међусобној зависности: високоинфективна контаминација биолошким агенсима – средства за респираторну заштиту – ефикасност заштите – физиолошка подобност. Решење за опасност од високоинфективне контаминације биолошким агенсима јесте употреба средстава респираторне заштите, али се у исто време ствара додатни проблем који се огледа у постизању одговарајућег нивоа ефикасности заштите уз услов одговарајуће физиолошке подобности средства. Потреба за потпуним решењем целокупног проблема који произилази из горе наведене спреге кључних фактора намеће неопходност разматрања употребе савремених материјала и технологија који би обезбедили максималну ефикасност заштите средства уз обезбеђење физиолошке подобности при употреби.

Сагласно проблему који се истражује, предмет докторске дисертације представља истраживање ефикасности заштите и физиолошке подобности средстава личне респираторне заштите филтрирајућег типа (војних и цивилних) за заштиту свих припадника МО и ВС од дејства биолошких агенаса у мирнодопским и борбеним условима. Предмет истраживања може се сврстати у ужу научну област Заштита од НХБ оружја, којој припада и заштита од биолошких агенаса.

Актуелност предметног истраживања. Међу малим бројем земаља света, Република Србија се одликује епитетом да има развијену производњу средстава респираторне заштите за припаднике војске и цивилног становништва. Сходно генерацији средства, код свих произвођача у свету производња се заснива на истом концепту заштите корисника, али се квалитет средстава разликује сходно примењеним научним и технолошким достигнућима у појединим конструкцијским и техничким решењима самог средства.

С обзиром да припадници војске и у радно и ванрадно време остварују сталну непосредну комуникацију са цивилном популацијом, ради очувања здравља људства и

високе оперативне способности војних састава у случају настанка епидемија, одн. пандемија, изазваних биолошким агенсима, поставља се као неопходност опремање одговарајућим средствима личне респираторне заштите.

Резултати истраживања у овој области у свету су само делимично доступни за домен војне заштитне маске, док у литератури постоји веома велики број података у вези коришћења средстава респираторне заштите код цивилног становништва. Подаци да ли су та цивилна средства погодна за личну респираторну заштиту припадника војске не постоје, као што није познато ни које је средство од ове две врсте средстава личне респираторне заштите, сврсисходније за заштиту припадника војске од биолошких агенаса. У већини истраживања спроводе се обимна лабораторијска испитивања која укључују употребу савремене мерне опреме, вештачких модела, тест симулатора биолошких агенаса, чак и стварних контаминаната (у строго контролисаним условима у врхунски опремљеним и обезбеђеним лабораторијама), ради научне потврде укупне ефикасности заштите од биоагенаса. Потпуна оцена о нивоу заштитне моћи који испитивана средства обезбеђују, у свету се даје на основу великог броја показатеља и применом обимне анализе карактеристичних параметара од којих су кључни следећи: пропуштање према унутрашњости заштитног средства, ефикасност филтрирања филтрирајућег медијума и отпор заштитног средства при удисању. Детаљно се испитују и средства у развоју код којих су примењени нови филтрирајући материјали високих перформанси произведени савременим технологијама, укључујући и нанотехнологије.

Циљ докторске дисертације је да се реално установи да ли заштитна маска (типови М2, М2Ф, М3) као средство респираторне заштите филтрирајућег типа које је у војној оперативној употреби, има физиолошку подобност и ефикасност заштите у случају излагања корисника контаминацији биолошким агенсима путем дисајних органа и да ли постоје друга лична респираторна средства која су физиолошки погодна за употребу, а у погледу ефикасности заштите не заостају за војном заштитном маском.

У складу са наведеним, дефинисани су **посебни циљеви докторске дисертације**:

- извршити испитивање ефикасности заштите средстава респираторне заштите филтрирајућег типа у вештачки симулираним условима контаминације средине биолошким агенсима,
- извршити испитивање физиолошке подобности средстава респираторне заштите филтрирајућег типа у условима вештачки створеног оптерећења,

- на основу добијених резултата извршити анализу ефикасности заштите и физиолошке погодности сваког средства понаособ,
- користећи закључке извршених анализа, извршити одабир модела "идеалног" средства личне респираторне заштите с обзиром на ефикасност заштите који обезбеђује, физиолошке подобности за ношење у складу са радним условима,
- предложити оптимални начин остваривања респираторне заштите свих припадника МО и ВС, као и то да ли треба мењати постојеће прописе у вези коришћења средстава личне респираторне заштите.

За спровођење истраживачког процеса постављена је основна хипотеза: „Употребом средстава респираторне заштите, уз одговарајућу физиолошку подобност, могуће је обезбедити ефикасну заштиту свих припадника МО и ВС у случају излагања контаминацији биолошким агенсима путем дисајних органа, уз истовремену њихову функционалну способност за извршење наменских задатака и у борбеним и мирнодопским условима“, која је разрађена по следећем:

- анализом кључних параметара најпоузданије се може доћи до оцене нивоа заштитне моћи који испитивана средства могу да обезбеде,
- коришћење средстава респираторне заштите може омогућити ефикасну заштиту и функционалну способност корисника, одн. позитивно утицати на квалитет извршења наменских задатака свих припадника МО и ВС (официра, подофицира, војника, кадета, ученика, војних службеника и намештеника) у условима контаминације средине биолошким агенсима,
- одабиром модела „идеалног“ средства личне респираторне заштите у односу на биолошке агенсе, може се дати предлог оптималног начина остваривања респираторне заштите свих припадника МО и ВС, уз усклађивање са постојећом нормативно-правном регулативом.

У спровођењу истраживања коришћене су емпиријске методе (анализе садржаја и експеримента) и општенаучна метода (статистичка).

Методом анализе садржаја образложена су теоријска истраживања која се односе на три уско повезане области: епидемиологију, личну НХБ заштиту и технологију филтрирања филтрирајућим материјалима. Основни полазни подаци и чињенице су прикупљени из домаће и стране литературе и то из оригиналних научних и стручних радова објављених у овој области.

Методологија испитивања у овом истраживању заснована је на важећим европским и домаћим стандардима којима се регулише комплетна процедура током извођења испитивања. У експерименталном раду коришћена је метода експеримента уз

примену испитно-мерне опреме лабораторије Одељења за хемијску и нуклеарну заштиту Сектора за материјале и заштиту Војнотехничког института у Београду где је вршено мерење и пренос података, као и праћење свих параметара у реалном времену. Пошто је испитивање са реалним контаминантима у лабораторијским условима активност високог ризика, у циљу безбедног спровођења истраживања као испитни агенс је коришћен натријум-хлорид (NaCl), јер је теоријски утврђено да је погодан, безопасан и адекватан симулатор биолошких агенаса типа вируса и бактерија. За потребе испитивања извршена је набавка стандардима прописаног броја репрезентативних узорака свих испитиваних средстава.

Подаци прикупљени применом метода анализе садржаја искоришћени су за квалитетну припрему и спровођење испитивања методом експеримента, а по извршеном испитивању добијени резултати су сређени, класификовани и извршена је њихова статистичка обрада. У складу са тим су изведени закључци за верификацију хипотезе истраживачког процеса. Овом дисертацијом остварен је научни допринос у области испитивања оптималне зависности између ефикасне респираторне заштите и одговарајуће физиолошке погодности ношења средстава респираторне заштите.

Научна оправданост истраживања огледа се у стицању научних потврда о нивоу поузданости заштите корисника средствима респираторне заштите у односу на биолошке агенсе. Лична заштитна средства за респираторну заштиту која се налазе у оперативној употреби у МО и ВС су развијана и испитивана на дејство отровних хемијских супстанци (ОХС), али када је реч о штетним утицајима биолошких агенаса на здравље људства и о могућности контаминације, у нашој земљи нису вршена циљана експериментална испитивања тих средстава по овом питању, јер се биолошка заштита хипотетички дефинисала. Стога је неопходно добити научну потврду по питању поузданости наведених средстава за предузимање мера превенције и сузбијања ширења респираторних болести изазваних контаминацијом биолошким агенсима.

Друштвена оправданост истраживања огледа се у чињеници да војни колективи МО и ВС представљају многољудне организационе целине нашег друштва, са великом фреквенцом кретања њених припадника у разним друштвеним срединама. Истраживање је веома актуелно с обзиром на честе епидемије хуманог вируса инфлуенце различитих типова у различитим деловима света, могућу употребу биолошких агенаса у терористичке сврхе или у борбеним околностима, као и могуће будуће интерхумане респираторне инфекције неким другим инфлуенца вирусом. Јасно је да се са том чињеницом мора рачунати у будућности тако да резултати овог истраживања, поред значајног научног доприноса, имају и важан практичан значај за оперативну способност целокупног МО и ВС.

ТЕОРИЈСКИ ДЕО

1. Контаминација животне средине биолошким агенсима

Контаминација животне средине биолошким агенсима може настати природним путем - као последица природне епидемије¹/пандемије², или вештачким путем - применом биолошких агенаса у ратне или терористичке сврхе. Број биолошких агенаса и токсина чија је примена могућа у ове сврхе знатно је мањи од оних који у мирнодопској ситуацији у природи проузрокују болести.

Епидемије/пандемије најчешће настају природним путем услед брзог ширења биолошких агенаса кроз људску популацију. Према СЗО о пандемији се може говорити када је испуњено следеће:

- у некој популацији се појавило до тада непознато обољење,
- узрочници инфицирају људе и изазивају тешке последице,
- узрочници болести се шире брзо и задржавају се међу људима.

Посматрано кроз историју, од свих биолошких агенаса најчешћи узрочници епидемија/пандемија су вируси, који захваљујући својим честим, чак и непредвидивим антигенским мутацијама, стварају нове сојеве вируса који никада нису циркулисали у људској популацији, који имају веома висок инфективни потенцијал и против којих не постоји имунитет популације. Услед тога долази до великог броја истовремених епидемија широм света, које прерасту у пандемије уколико су погодни метеоролошки, географски и социоекономски услови за ширење заразне болести. Епидемије које су се појављивале широм света у претходних неколико деценија биле су најчешће вирусне - великих богиња, грипа (инфлуенце), „corona“ вируса, заушки, еболе (1972. - велике богиње, Југославија; 2009. - заушке, Ирска (избила 2000-их); 2003. - „corona“ вирус, земље Азије (Кина, Сингапур, Вијетнам, Тајван, Бангкок); 2009 – „свињски“ грип, широм света; 2014. – ебола, земље западне Африке (Гвинеја, Либерија, Сијера Леоне, Мали)) [1].

¹ Епидемија (грчки *επιδημία* - „међу народом распрострањено“) је необично често појављивање једне болести у једној популацији. Епидемичне болести су између осталог колера, грип, тифус и куга. За разлику од епидемије, ендемија описује нормално и уобичајено појављивање (ширење) болести међу једном популацијом. Чим број оболелих пређе једну одређену границу може се говорити о епидемији.

² Пандемија је епидемија заразне болести која се шири кроз популацију људи једне државе, веће области, континента или целог света.

Од укупно пет пандемија које су се догодиле у свету у последњих 100 година, чак четири су биле вирусне, изазване вирусом инфлуенце, само различитих подтипова³ [1]:

- 1918. - 1919. године „шпанска грозница“ - узрочник инфлуенца вирус типа А подтип H1N1 (A/H1N1)⁴,
- 1957. – 1958. године „азијски“ грип - узрочник инфлуенца вирус типа А подтип H2N2 (A/H2N2),
- 1968. – 1969. године „хонгкошки“ или „кинески“ грип - узрочник инфлуенца вирус типа А подтип H3N2 (A/H3N2),
- 2009. године „свињски“ или „мексички“ грип – узрочник генетски измењен инфлуенца вирус A/H1N1⁵.

Од 1997. године доказане су у различитим регионима света инфекције различитим подтипovima инфлуенца вируса типа А [1]: H5N1 (1997. - Хонг Конг), H9N2 (1999. - Хонг Конг, Кина), H7N2 (2002. - Вирџинија), H7N7 (2003. - Холандија), H7N2 (2003. - Њу Јорк), H7N3 (2004. - Канада), H5N1 (2004. - Тајланд, Вијетнам), итд. Многи научници верују да је питање времена када ће се десити пандемија вирусом авијарне инфлуенце А/Н5Н1. Колики је њен пандемијски потенцијал, говоре прогнозе СЗО, према којим би стопа морталитета могуће пандемије изазване овим вирусом могла бити у интервалу од 10 % до 35 % светске популације [2, 3]. Овде треба истаћи и „corona“ вирус⁶, изазивача веома смртоносне и заразне болести зване тешки акутни респираторни синдром (енгл. *SARS – Severe Acute Respiratory Syndrome*), који је по својим биолошким особинама, начину преношења, као и симптомима које изазива пошто инфицира ћелије домаћина, сличан вирусу сезонског грипа, инфлуенца вирусу типа А/Н5Н1 и осталим циркулишућим вирусима као што су А/Н7Н7 и А/Н7Н3 (код птица), и А/Н1Н1 и А/Н3Н2 (код људи) [4].

³ 1977. године тзв. „руски грип“ захватио је један део света и остао упамћен као (полу)непризната пандемија. Изазван је инфлуенца вирусом А/Н1Н1. 2004. године је постојала опасност од појаве пандемије „птичјег“ грипа, узрокованог високо патогеним вирусом „avian“ инфлуенце (типа А, подтипови H5N1 и H9N2). До пандемије није дошло, јер је изостало интерхумано преношење инфекције.

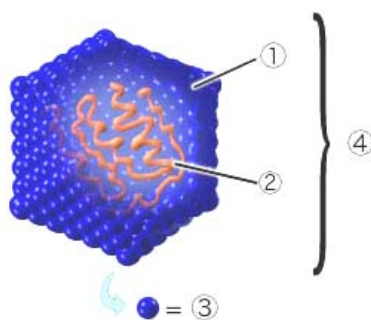
⁴ Ова пандемија је имала најтеже последице од свих забележених - према подацима СЗО умрло је најмање 40 милиона људи.

⁵ Овај сој вируса, тзв. „четвостручена врста“ вируса настао је рекомбинацијом од 4 вируса, а не од 2, као што је то бивало до сада, а да, при томе, није дошло до промене ниједног од 2 површинска гликопротеина вируса, тј. површинских антигена H1 и N1. Рекомбинација је настала генетским укрштањем два гена карактеристична за вирус „свињског“ грипа, једног за вирус „птичјег“ грипа и једног за вирус хуманог грипа.

⁶ „Corona“ вирус припада роду *Nidovirales*, фамилија *Coronaviridae*, IV група вируса. Вирион „corona“ вируса је умерено плеоморфан, овалног облика, пречника 80-150 nm. Као и вирус инфлуенце, изазива респираторне инфекције, и горњих и доњих дисајних путева, и преноси се путем назофарингеалног секрета (саливе и слузи) у облику аеросола ослобођених у ваздух.

Да би се разумеле овако честе појаве епидемија/пандемија изазваних вирусима, потребно је сагледати њихове биолошке особине са посебним освртом на вирус инфлуенце као најчешћег узрочника епидемија/пандемија.

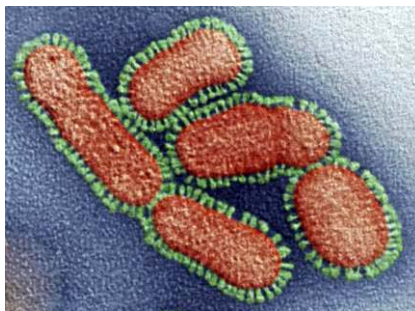
Вируси се дефинишу као најситнији и по грађи најједноставнији микроорганизми, у природи јединствени што су једини облик живе материје са генетским материјалом записаним и у рибонуклеинској киселини (РНК). Имају оскудан ензимски систем, па се размножавају само у живој ћелији домаћина због њеног ензимског система. Вирусна честица (вирион) састоји се из језгра (генетски материјал) обавијеног протеинским омотачем (капсид). Може бити хеличне или кубичне симетрије. Величина вириона износи 15 - 300 nm. Језгро чини једна од нуклеинских киселина, рибонуклеинска или дезоксирибонуклеинска (ДНК). Капсид може бити једнослојан или двослојан, а састављен је од морфолошких јединица (капсомера). Нуклеинска киселина заједно са капсидом чини нуклеокапсид и код појединих вируса представља комплетан вирион (Слика 1). Многе породице вируса имају још и додатни спољашњи липопротеински омотач који потиче од ћелије у којој се вирус размножавао. Липопротеински омотач је грађен од сложених протеина са липидима и гликопротеинима (на спољашњој страни липидног слоја уграђени су вирус специфични гликопротеини које кодира вирусни геном). Гликопротеини, најчешће хемаглутинаин и неураминидаза, у виду изданка (пепломера) са површине вируса врше адсорпцију вируса на специфичне ћелијске рецепторе, те су добри антигени [5].



Слика 1. Приказ грађе вириона: 1 – капсид, 2 – нуклеинска киселина, 3 – капсомера, 4 – нуклеокапсид.

Вирус грипа (инфлуенце) припада роду *Orthomyxovirus*, фамилија *Orthomyxoviridae*, V група вируса, а може бити типа А, Б и Ц. Вирион инфлуенца вируса је плеоморфан, од сферичног или овалног облика, пречника 80-120 nm, до филаментозних форми дугих и по неколико микрометара (Слика 2.).

Геном чини једноланчана, негативна РНК, подељена у осам генетских сегмената, која се налази у двослојном липидном омотачу⁷ [6].



Слика 2. СЕМ снимак честице вируса инфлуенце (увећање 230.000 пута)

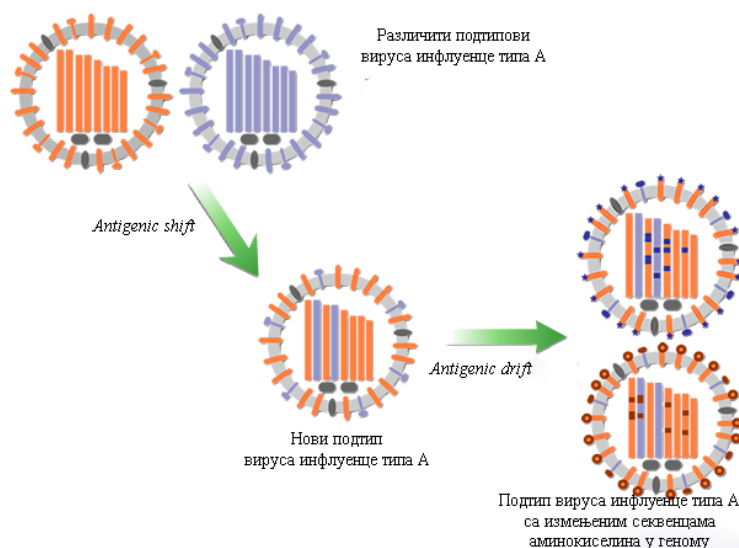
Типови вируса инфлуенце се разликују по тип специфичним антигенима - нуклеопротеину и структурном М1 протеину. Подтипови вируса инфлуенце (серотип) се одређују по подтип специфичним антигенима (гликопротеинским наставцима на површини омотача) - хемаглутинаину (Н) и неураминидази (N). Хемаглутинаин омогућава везивање вируса и његов улазак у ћелију, док неураминидаза помаже ослобађање нових вируса из заражених ћелија. На основу типа једног и другог молекула протеина који садрже, вирусима се додељују лабораторијске ознаке (Н: 1-18, N: 1-11) [7].

Једна од најзначајних карактеристика инфлуенца вируса је учесталост промена антигене грађе, поготово код типа А. Оба подтип специфична антигена су подложна антигенским варијацијама, нарочито Н антиген. Постоје две врсте промена (Слика 3.) – антигенска померања (енгл. *antigenic drift*) и антигенски премештај генетског материјала (енгл. *antigenic shift*).

Antigenic drift је чешћа варијација и резултат је промене секвенци појединих аминокиселина, одн. промене њиховог места у геному одговорном за синтезу хемаглутина или неураминидазе.

Antigenic shift је ређа промена. Изазива веће антигенске промене и настаје као последица акумулације тачкастих мутација или рекомбинацијом између сојева вируса са различитим Н антигеном (нпр. 2 вируса инфлуенце А (хуманог и животињског (свиња, птица)), који се истовремено размножавају у истој зараженој ћелији (може бити или ћелија човека или свиње (свиња се може заразити и хуманим и птичијим и свињским вирусом инфлуенце А)) [6].

⁷ Геном инфлуенца вируса типа Ц чини РНК која има само седам сегмената.



Слика 3. Приказ промена антигене грађе вируса

При антигенском померању не долази до промене подтипа вируса, тако да је стечени имунитет у популацији донекле делотворан, па јачина болести и брзина њеног ширења нису нарочито велики. Насупрот томе, при антигенском премештају генетског материјала настаје нови подтип вируса који поседује велики епидемијски/пандемијски потенцијал пошто на њега нема имунитета у популацији (имуни систем домаћина не препознаје нови антигенски склоп вируса). Сходно овоме, услед сталне промене антигене грађе вируса имунитет на инфлуенца вирус је делимичан и пролазан, што објашњава чињеницу да је инфекција вирусом инфлуенце главна епидемијска болест у хуманој популацији.

Уз претходно изнесено, битан чинилац у ширењу ове заразне болести представља и начин њеног преношења. Резервоари за инфлуенца вирус типа А су животиње и људи, а за инфлуенца вирус типа Б и Ц искључиво човек. Сходно томе, инфлуенца вирус се може пренети:

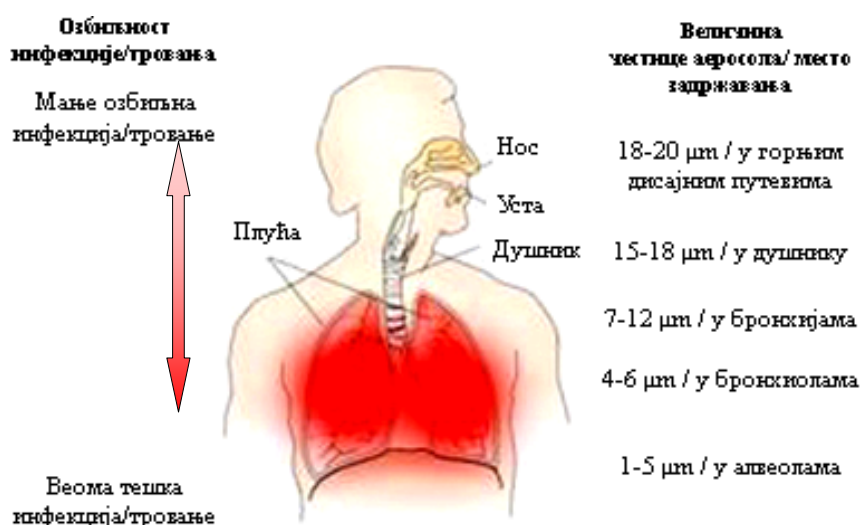
- тип А - са животиње на животињу (интеранимално), са животиње на човека (и обрнуто), са човека на човека (интерхумано),
- тип Б и Ц - искључиво интерхумано.

Најчешће се инфекција инфлуенце остварује преносом кроз ваздух у виду аеросола⁸, пошто се микроорганизми најуспешније крећу кроз ваздух и најбрже улазе у људски организам путем дисајних органа [8]. Стога је инфекција респираторним путем много значајнија за посматрање у односу на инфекције алиментарним путем (преко хране и воде), као и путем коже и конјуктиве, које су врло мало заступљене [9]. Примера ради, назалним секретом расипају се милиони вирусних честица по

⁸ Полидисперзни системи са честицама микроорганизама различитих величина и облика распршених у ваздуху.

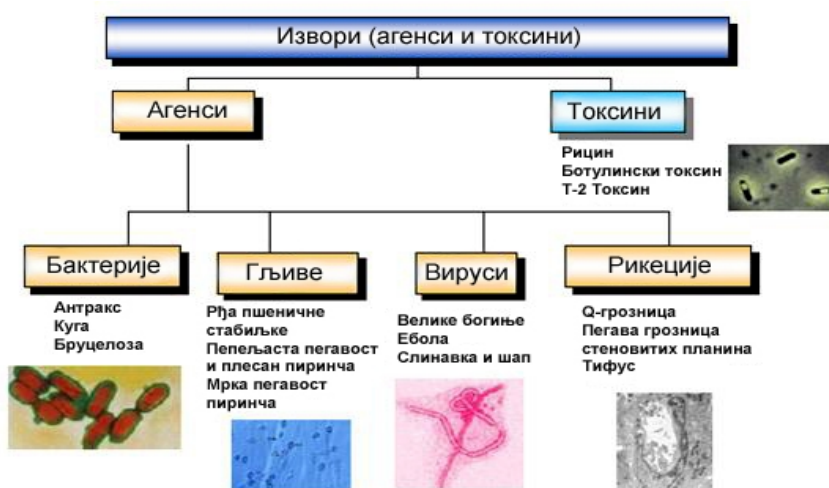
милилитру, тако да једна честица аеросола од 0,1 μl садржи више од 100 вирусних честица. Јединична ХИД (хумана инфективна доза) вируса инфлуенце може бити између 100 и 1 000 честица [10]. Код 4 од 12 пацијената оболелих од вируса инфлуенце, потврђено је у издахнутом ваздуху присуство вируса, а више од 87% издахнутих честица мање су од 1 μm [11].

Сходно изнесеном, може се уочити да се процес ширења инфекције одвија излучивањем вируса из вектора (носиоца) заразе путем назофарингеалног секрета (саливе и слузи) у облику аеросола ослобођених у ваздух дисањем, говором, кијањем, певањем и кашљем (најчешће) [12]. Пошто је дисање континуалан процес, људски организам је на тај начин под сталним дејством инфекције. На Слици 4. је дат приказ места деловања честица аеросола у респираторном систему човека зависно од њихове величине. Као што се види, честице аеросола величине 18-20 μm доспевају и задржавају се само у горњим дисајним путевима (после одређеног времена локално испољавају своје ефекте на организам). Незнатно дубље продиру честице величине 15-18 μm , док честице аеросола величине 7-12 μm продиру до плућних бронхија где своје ефекте испољавају веома снажније и брже, пошто је слузокожа бронхија далеко осетљивија у односу на слузокожу горњих дисајних путева. Још снажнији ефекти аеросолне контаминације се добијају када честице аеросола величине 4-6 μm продру до бронхиола чија је слузокожа још осетљивија, а најснажније ефекти су када честице инфективних аеросола оптималне величине 1-5 μm долазе до алвеола, најфинијих делова плућног система, одакле практично неизмењене прелазе директно у крвоток и разносе се по читавом организму. Ефекти аеросолне контаминације људи по интензитету и ефикасности могу се поредити са ефектима интравенске апликације биолошких агенаса [13, 14].



Слика 4. Приказ места задржавања честица аеросола у респираторном систему човека

Упоредо са стално присутном могућношћу појаве епидемије/пандемије изазване природним узрочницима, непрекидно је присутна претња од могуће употребе биолошких агенаса и токсина у разним сукобима или терористичким нападима у виду биолошких борбених средстава, тј. биолошког оружја. Према Конвенцији о биолошком оружју, која је ступила на снагу 1975. године, биолошко оружје се дефинише као „патогени микроорганизми и други биолошки агенси или токсини, без обзира на њихово порекло и начин добијања, чије поседовање није намењено за профилактичку, заштитну или неку другу мирољубиву сврху, као и оружје, опрема и друга средства и начини дисеминације ових агенаса ради непријатељских намера или током ратних сукоба“ [15]. Биолошка оружја се деле на она која могу да делују на човека (хумани патогени), на животиње (животињски патогени) и на биљке (биљни патогени). На Слици 5. су приказани могући инокулуми погодни за производњу биолошког оружја.



Слика 5. Врсте инокулума за производњу биолошког оружја

Хумани патогени, који према Контролној Листи роба и технологија двоструке намене Европске Уније, осим за цивилну намену имају потенцијалну примену као БО обухватају [16]:

- 32 вируса - нпр. *Ebola virus* (вирус еболе),
- 4 рикеције - нпр. *Coxiella burnetii* (Q-грозница),
- 15 бактерија - нпр. *Yersinia pestis* (куга), *Bacillus anthracis* (антракс),
- 2 гљивице - нпр. *Coccidioides immitis* (кокцидиоидомикоза),
- 19 токсина - нпр. *Botulinum toxin* (ботулински токсин).

Ефикасност биолошких продуката као биолошког оружја илуструје податак да су неки биолошки токсини (ботулинум токсин, шига токсин, рицин) смртоноснији од отровних хемијских супстанци намењених за хемијско оружје (VX, соман, сарин, табун) [17].

Поред могућности да биолошко оружје буде примењено у оружаним сукобима између држава, постоји много већа опасност да га употребе терористичке организације, секте и појединци. У том смислу користи се термин биотероризам (биолошки тероризам), који се дефинише као „употреба насиља коришћењем биолошких агенаса због политичких, религиозних, еколошких или других идеолошких разлога без обзира на њихову моралну или политичку оправданост“ [18].

Ризик од употребе биолошког оружја у ове сврхе се све више повећава због интензивног развоја молекуларне генетике и биотехнологије (генетског инжењеринга) чија достигнућа, поред тога што служе на добробит човечанства, могу бити и злоупотребљена. Технике манипулације генима сваким даном се све више усавршавају. Велике компаније увелико врше истраживања у смислу тзв. „усмерене молекулске еволуције“ ради побољшања производње лекова и протеина. Овакав поступак убрзања еволуције усмерене у жељеном правцу, одликује се добијањем гена са различитим распоредом фрагмената и са мутацијама у једној тачки, који се потом убацују у микроорганизме, а након тога се врши селекција оних са жељеним особинама. Овим поступком се значајно скраћује време неопходно да се добије микроорганизам са одговарајућим особинама. Злоупотреба оваквих достигнућа науке имала би несагледиве последице. Заstraшујуће делују подаци да су на овај начин добијени сој *Escherichia coli* са геном резистенције из стафилокока који је 32.000 пута резистентнији према антибиотику цефотаксиму од дивљег соја бактерије, као и сој *Yersinia pestis* који је био резистентан према 16 врста различитих антибиотика [19].

Што се тиче ширења заразних болести изазваних биолошким агенсима и токсинима, сви путеви преношења заразних болести у природним условима користе се и у примени биолошког оружја. Преношење путем хране и воде, као и коже и сузокоже, веома мало је заступљено у односу на преношење путем ваздуха. Конструкција биолошког оружја и тактика његове примене диктирају да најчешћа дисеминација биолошких агенаса на циљу буде у форми аеросола како би ефекти на циљу били што бољи (најефикаснији начин излагања људског организма утицајима биолошких агенаса је путем њиховог удисања⁹). За дисеминацију биолошких агенаса се могу користити авиони (авио-спреј) или спреј са земље, распрскавајуће бомбе и ракете разног домета са уграђеним инфективним материјалом. Системи за дисперзију аеросола праве се тако да стварају облак невидљивих капљица, пречника 0,5 до 10 μm , које могу дуго остати суспендоване у ваздуху. Неки агенси се брзо инактивишу након дисперзије, а неки

⁹ Детаљно објашњено за све микроорганизме на примеру инфекције људског организма вирусом инфлуенце респираторним путем.

ветром могу бити пренети на велике даљине, где падају на земљиште и у воду, које контаминирају са могућношћу стварања секундарног аеросола. Треба имати на уму могућност дугог преживљавања биолошких агенаса адсорбованих на честице прашине, које се могу ресуспендовати у ваздух са контаминираних површина.

Сходно претходно изложеном, процене ефеката биолошког напада односе се највише на биолошке аеросоле. Избор средства за злонамерни/терористички акт уз употребу биолошких агенаса и токсина увек се базира на процени ефикасности, односно параметара условљених њиховим карактеристикама, од којих су најбитније патогеност¹⁰, инфективност (контагиозност)¹¹ или токсичност¹², инкубациони период¹³, трансмисивност¹⁴, стабилност после примене¹⁵. Данас се може произвести материјал који садржи инфективне микроорганизме у концентрацији до 10 милијарди на 1 g тако да њихова примена аеросолним путем може изазвати несагледиве епидемиолошке последице [20]. Примера ради, Конгресна канцеларија за технолошке процене (САД) проценила је да би отпуштање 100 kg аерозолираних спора антракса низ ветар могло изазвати од 130.000 до 3.000.000 смртних случајева [21].

Услед свега наведеног јављају се значајни проблеми који настају употребом биолошких агенаса и токсина који се могу сажети у следећем:

- велике контаминације средине могу бити изазване ниским концентрацијама биолошких агенаса и токсина услед њихове велике инфективности,
- у атмосферски стабилним условима могу бити присутни сатима,
- у атмосферски нестабилним условима, посебно у случају ваздушних струјања, контаминација се шири на велика пространства,
- велики број особа се излаже контаминацији – до инфекције може доћи уношењем примарног и секундарног (резидуалног) аеросола - инхалационо, ингестионо, перкутано или укрштеном контаминацијом,
- ако је контаминирана храна или вода, инфективни агенси могу дуже да опстану и/или чак и да се размножавају,

¹⁰ Патогеност је способност биолошког агенса да изазове болест у осетљивом домаћину.

¹¹ Инфективност одражава лакоћу којом поједини БА изазивају инфекцију након уласка у организам домаћина. Висока инфективност не подразумева и брз настанак и тешку клиничку слику болести.

¹² Токсичност означава релативну тежину болести или неспособности настале услед деловања токсина. Њихов ефекат је непосредан и зависи од дозе. За разлику од токсина, микроби морају да се умножавају у домаћину да би испољили своје дејство.

¹³ Инкубациони период (у случају деловања токсина користи се израз латентни период) је време протекло од излагања дејству биолошког агенса/токсина до појаве првих симптома и знакова болести).

¹⁴ Трансмисивност означава лакоћу којом се биолошки агенс може преносити са једне на другу особу.

¹⁵ Стабилност је способност преживљавања биолошког агенса у спољној средини, а под дејством фактора као што су температура, релативна влажност, сунчева светлост и атмосферска загађења.

- непримећеност напада услед прикривене примене - познавајући епидемиолошке карактеристике једног подручја, могуће је изазвати епидемију мањих или већих размера коју је немогуће разликовати од природно настале епидемије,
- одложено испољавање деловања услед периода инкубације и брзо ширење инфекције сходно степену контагиозности – спречено благовремено реаговање,
- дуго трајање због јаке перзистенције у животној средини – тешко спречавање ширења инфекције и њено заустављање, посебно код инфекција код којих постоји могућност накнадног интерхуманог преношења,
- одлагање или немогућност профилаксе због тешкоћа у идентификацији (услед мешања симптома), као и недостатка препарата за лечење и сузбијање.

Када се примењују у биотероризму, уз наведене настаје још један низ проблема:

- већа могућност његове употребе услед једноставне и јефтине производње,
- немогућност државе и медицинске службе да благовремено и одговарајуће одговоре на насталу ситуацију услед великог броја стварних и потенцијалних жртава, као и оних за које се сматра да су били изложени ризику од инфекције,
- психолошко дејство биотероризма - представља извор страха, панике и социјалних поремећаја услед немогућности опажања чулима и поузданог предвиђања могућих последица, непредвидивости извођења следећег терористичког напада (када, где, против кога усмерен, на који начин изведен).

У складу са наведеним, сценарио могуће појаве епидемије/пандемије изазване природним узрочницима или циљаном употребом биолошких агенаса и токсина, са губицима људских живота и свим пратећим проблемима, намеће неопходност обезбеђења одговарајуће заштите становништва. Према препорукама СЗО у случајевима епидемија и пандемија, заједно са другим превентивним мерама заштите здравља, једна од основних мера је заштита дисајних органа. На индивидуалном нивоу, заштита дисајних органа се постиже ношењем различитих типова маске, полумаске, респиратора или других физичких баријера [22-25]. Наведена лична средства респираторне заштите треба носити у свим приликама у којима постоји могућност контаминације ваздуха аеросолима изазивача инфективних болести¹⁶, услед блиског контакта са особом која има респираторне симптоме или великог броја болесних или чак здравих појединаца („здравих носача“) - у затвореним просторима, на јавним местима и другим местима окупљања [24-26].

¹⁶ То су аеросоли у којима путем кашљања, кијања (најчешће) могу бити распршена крв (сукрвица), телесне течности, као секрет или излучевине (фецес) преносилаца инфекције, те као такви контаминирају ваздух.

2. Заштита органа за дисање

Заштита организма од контаминације инхалационим путем постиже се коришћењем средстава за заштиту органа за дисање (средства респираторне заштите¹⁷) [27]. Она могу бити изолујућег типа (изолациони апарати отвореног и затвореног круга дисања) и филтрирајућег типа (без погона и са погоном за снабдевање ваздухом (тзв. *PAPR*¹⁸ апарати)) [28].

Средства респираторне заштите изолујућег типа конструкцијски су пројектована са циљем да се кориснику средстава обезбеди довођење по здравље нешкодљивог ваздуха за дисање и омогући аутономија рада и боравак у екстремним условима. Употреба средстава изолујућег типа заснива се на потпуној изолацији лица, очију и органа за дисање корисника средства од спољне атмосфере (где је концентрација кисеоника мања од 17 % (запреминских), уз присуство дима и штетних гасова), те се ваздух неопходан за дисање обезбеђује регенерацијом и пречишћавањем издахнутог ваздуха или из боца са компримованим кисеоником и ваздухом [29]. Намењена су за заштиту органа за дисање:

- од пара/гасова који се слабо адсорбују на филтрујућим адсорбентима и у условима високе концентрације истих,
- од недостатка кисеоника,
- када је непознат контаминант и
- у *IDLH* атмосфери¹⁹ [30].

Ова средства углавном функционишу на принципу коришћења хемијски везаног кисеоника, компримованог кисеоника и компримованог ваздуха. Изолујуће заштитне маске, зависно од модела, поседују регенеративне патроне са одређеним додатним уређајима. Регенеративни патрони садрже материју која из издахнутог угљен-диоксида издваја кисеоник. Овај кисеоник обогаћује ваздух у затвореном систему и омогућује удисање потребне количине кисеоника. Изолујуће заштитне маске на принципу компримованог ваздуха, или кисеоника, не пречишћавају ваздух већ га испуштају напоље, а за дисање се користи ваздух из боца са компримованим ваздухом.

¹⁷ Средства респираторне заштите (СРЗ) - лично заштитно средство намењено за заштиту органа за дисање корисника од удисања атмосферског ваздуха који би иначе имао штетан утицај по здравље.

¹⁸ *PAPR* - *Powered Air-Purifying Respirator* (енгл.) – филтрирајући апарат на моторни погон или без, са дуваљком, са шлемом, капуљачом, пуном маском, полумаском, четвртмаском.

¹⁹ *IDLH* - *Immediately Dangerous to Life or Health* (енгл.) – концентрације тренутно опасне за живот или здравље, дефинисане од стране америчког Националног института за заштиту на раду и здравље (NIOSH) као изложеност у ваздуху супстанце која ће вероватно изазвати смрт одмах или одложено довести до негативних ефеката по здравље, или спречити излаз из такве средине.

Недостаци изолујућих средстава за заштиту органа за дисање су велика маса и габарит, ограничено време заштитног деловања, сложеност употребе, итд. Испољавају се и штетни утицаји на здравствено стање корисника – болови у ушима и носу, повећање притиска на плућа, декомпресиона болест, тровање кисеоником и угљен-диоксидом, глад за кисеоником, итд.

Средства респираторне заштите филтрирајућег типа су физиолошки погоднија, једноставније конструкције, мањих димензија и масе од средстава изолујућег типа. Употреба ових средстава заснива се на основи коришћења спољњег ваздуха пречишћеног од штетних гасова, пара и аеросола где је присуство кисеоника веће од 17 % (запреминских) [29]. Пречишћавање наведених штетних материја врши се филтрирањем помоћу гасних филтара, филтара за честице и комбинованих филтара (КФ), у комбинацији са погодним прикључцима за дисање, заштиту лица и очију корисника (пуна маска, полумаска, четвртмаска).

У даљем тексту биће приказан развој средстава респираторне заштите филтрирајућег типа, њихове карактеристике и примена за војне и цивилне потребе.

2.1. Развој средстава респираторне заштите филтрирајућег типа

Концепт употребе средстава респираторне заштите за смањење или елиминацију изложености према ваздушним контаминантима први пут је забележен код Плинија Старијег (између 23-79. н.е.), који даје идеју коришћења коже животињске бешике за заштиту радника од удисања црвеног оловног оксида у римским рудницима. Касније, крајем 18. века су развијени претходници савремених уређаја за снабдевање ваздухом, као што су самостални апарати за дисање или маске са цревом [31].

Први модернији респиратори су развијени током 19. века. Подстицај за њихов развој произилази из потребе да се заштите рудари од опасних прашина и гасова, као и ватрогасци од дима и угљен-моноксида.

Луис П. Хаслет (енгл. *Lewis P. Haslett*) из САД је 1848. године развио маску за пречишћавање ваздуха која филтрира прашину из ваздуха помоћу једносмерног вентила и филтра направљеног од натопљене вуне или њој сличне порозне супстанце [31]. Пратећи Хаслета, дошло је до развоја низа уређаја за пречишћавање ваздуха – са филтрима од памучних влакана, са угљем и кречом за апсорпцију отровних испарења, са окуларима, итд.

Шкотски хемичар Џон Стенхаус (енгл. *John Stenhouse*) је истраживао моћ дрвеног угља да у својим различитим облицима ухвати и задржи велике количине гаса. Тако је 1854. године изумео један од првих респиратора [31], који је био у стању да

уклони отровне гасова из ваздуха (Слика 6.), чиме је за активни угаљ отворен пут да постане најраспрострањенији филтар за респираторе Британски физичар Џон Тиндал (енгл. *John Tyndall*) је 1871. године Стенхаусовом респиратору додао филтар од вате натопљен кречом, глицерином и угљем и изумео „респиратор за ватрогасце“, капуљачу која филтрира дим и гас из ваздуха [31].



Слика 6. Респиратор Џона Стенхауса

Објашњење порекла и начина преношења инфекција у животној средини представљало је велики проблем за науку 19. века. Више од једног века пре открића Левенхуковог микроскопа и три века пре Пастерових истраживања о труљењу меса узрокованом микробима, Хиеронимус Фракасториус (енгл. *Hieronymus Fracastorius*) је постулирао да је узрок заразних болести од невидљивих живих семена („*Seminaria Contagionum*“). У свом раду „*De contagione*“, који је објављен у 1546. године, он је описао три начина ширења болести: директан контакт са зараженим особама, индиректан контакт са загађивачима и пренос ваздухом [32].

Карл Флуге (енгл. *Carl Flugee*) је 1897. године закључио да респираторне капљице могу да носе микроорганизме као што су бактерије и вируси и представљају медијум за пренос инфективних болести, те да је инфекција капљицама много вероватнија него инфекција прашином као агенсом преноса. Ово је доказао када је забележио генерисање капљица пореклом из уста пацијената током говора, гласног причања, кашљања и кијања [33]. На основу тих закључака, 1897. године аустријски хирург Јан Микулиц Радечки (енгл. *Jan Mikulicz-Radecki*) је први користио маску да заштити отворене ране пацијената током операција од бактерија из уста. То су биле грубе маске, које су се састојале од ваљкастих трака газе постављених у једном слоју преко уста. Ово је представљало почетак употребе маски у медицини као хируршких маски [34]. Због очигледних резултата у медицинској пракси и великог значаја за заштиту пацијената, ова средства су брзо усавршавана, тако да су убрзо развијене и коришћене двослојне и трослојне хируршке маске. Већ двадесетих година 20. века хируршке маске су постале саставни део опреме хирурга [35].

Употреба бојних отрова током Првог светског рата као неопходност је наметала потребу за усавршавањем постојећих респиратора и за војне потребе. Прво овакво средство представљала је повеска од више слојева текстилног материјала натопљених раствором натријум тиосулфата, натријум бикарбоната и глицерина (Слика 7.) која је коришћена приликом употребе хлора као бојног отрова од стране Немаца 1915. године. Због примене фозгена заједно са хлором, повеске овог типа познате и под називом „влажне маске“, импрегниране су растворима са додатним супстанцама (уротропином, поташом) како би омогућавале заштиту и од фозгена [36].



Слика 7. Прво војно средство за заштиту органа за дисање – вишеслојна повеска

Касније су се појавиле маске са наочарима и цедилом напуњеним зрнима „натрон креча“ (садржавао до 40 % натријум хидроксида) које су штитиле од хлора и фозгена (Слика 8.). Међутим, због специфичности и хемисорпционих процеса и релативно мале брзине хемијске реакције, заштитне маске засноване на принципима хемисорпције нису могле да обезбеде сигурну заштиту од нових бојних отрова [36].



Слика 8. Савезнички војници са заштитним повескама у бици код Ипра 1915. године

Крајем 1915. године руски научник Николај Д. Зелински (рус. *Николай Дмитриевич Зелинский*) изумео је нови тип, тзв. „суву“ филтрујућу заштитну маску са активним угљем, која је имала велику моћ адсорпције пара и гасова бојних отрова (Слика 9.). Током 1916 – 1917. године ова маска је усавршена уграђивањем вентила за

удисање и издисање. Такође, због појаве отровних димова који се нису адсорбовали на активном угљу уграђен је и противдимни филтар, израђен од филтар папира или неколико слојева вате [37].



Слика 9. „Сува“ филтрујућа заштитна маска са активним угљем Николаја Д. Зелинског

Током тридесетих година у развијенијим земљама света почиње концепцијски приступ развоја заштитне маске, тзв. „гас маске“. Образина се већ тада израђивала од гуме у циљу бољег заптивања на лицу корисника и заштите лица од капљица бојних отрова. У образину су били уграђени стаклени окулари и еластичне траке. У унутрашњости су се налазиле две цеви којима се усмеравао ваздух на окуларе како не би долазило до замагљивања. Кутија цедила је била израђена од метала и напуњена активним угљем и противдимним филтром [38].

У то време и у нашој земљи од 1932. године почиње развој средстава за заштиту органа за дисање, када је отворена фабрика заштитних маски у оквиру Војнотехничког завода „Обилићево“ у Крушевцу. У почетку су у њима поправљане француске и немачке маске, а касније се приступило изради домаће маске. То је била копија француске маске „*ARS*“, код нас познате као „Гас маска М27“. Једина сировина која се тада производила био је активни угаљ од шљивиних коштица (импрегнисан раствором цинк-хлорида) и он је улазио у састав комбинованог филтра. Усавршавањем ове маске произведени су модели М29, М34 и пред Други светски рат модел М39. Године 1940. у Крушевцу је подигнута модерна фабрика гас маски, која је почетком Другог светског рата демонтирана од стране припадника немачке војске [39].

После Другог светског рата, развој средстава личне респираторне заштите у свету и код нас упоредо је текао за војне и цивилне (најчешће индустријске и медицинске) потребе.

2.2. Војна средства респираторне заштите филтрирајућег типа

Појава америчке заштитне маске М9 1947. године представља значајан напредак у развоју заштитних маски у целом свету (Слика 10.). Конструкција ове маске представља резултат пионирских ергономских истраживања, као и истраживања материјала за филтрирање радиоактивних честица, што је било условљено тадашњим

развојем прве атомске бомбе. Ове маске су поседовале нови концепт конструкције образине. Са уградњом полумаске, смањен је мртви простор испод образине и смањено је замагљивање наочара. Гравирана унутрашњост образине омогућила је боље налегање маске на лице корисника, видно поље је знатно повећано уградњом већих наочара. Филтар за заштиту од аеросола био је израђен на бази влакана од азбеста и целулозе, док је касније уграђен филтар на бази стаклених влакана. Заштитне карактеристике маске М9 обезбедиле су јој атрибут прве праве НХБ заштитне маске, за разлику од дотадашњих „гас“ маски.



Слика 10. Америчка заштитна маска М9 из 1947. године

Заштитна маска М9 и њена каснија унапређена верзија М9А1 (разлика само у торбици) била је стандард за маске друге генерације. У периоду од шездесетих до осамдесетих година, по њеном концепту, развијене су заштитне маске у више земаља широм света, тако да је настао већи број њених копија, као на пример: југословенска маска М1, финска М76, шведска М51, јапанска Тип 2 и јужнокорејска КМ9А1 [40, 41].

Трагајући за бољим перформансама, на концепту заштитне маске друге генерације, већ седамдесетих година у свету су развијене и заштитне маске треће генерације. Битан напредак код ових маски је уградња говорне мембране која се налази у склопу вентила издисаја, висока ефикасност заштите, веће видно поље и могућност употребе корекционих наочара.

Почетком осамдесетих година у најразвијенијим земљама света спровођени су пројекти израде интегралног личног заштитног комплета војника у оквиру којих је развијен и савремени концепт заштитне маске четврте генерације. Овај концепт заштите дисајних органа заснован је на томе да специјалне маске буду варијанте основне, што се постиже додацима или заменом делова (нпр. ребрасто црево за довод ваздуха при коришћењу маске у борбеним возилима, са унутрашње стране уграђен микрофон уместо прибора за узимање течности). Убрзо по завршеним испитивањима, модели ове генерације респираторних средстава су уведени у употребу оружаних снага већине развијених земаља света.

2.2.1. Заштита респираторних органа у армијама света

Савремено опремљене армије најразвијенијих страних земаља већ од половине осамдесетих година прошлог века имају у опреми заштитне маске четврте генерације (Слика 11.). Прва НХБ заштитна маска четврте генерације уведена у оперативну употребу у страним армијама је британска заштитна маска S10 [42].



Британска ЗМ „S10“



Канадска ЗМ „C4“



Финска ЗМ „M95“



Кинеска ЗМ „MF11B“



Чешка ЗМ „OM-90“



Француска ЗМ „ARFA“



Руска ЗМ „ГП7“



Шведска ЗМ „Ф2“



Швајцарска ЗМ „CM90“

Слика 11. Заштитне маске у армијама света

Предност ове генерације заштитних маски огледа се у примени савремених материјала за израду елемената маске, конструкционим побољшањима и развијенијим технологијама производње. Најчешће су пројектоване „CAD“ техником која омогућава анализу великог броја облика и величина образине и локација прикључних елемената маске, као и оптимизацију сваког елемента и укупне архитектуре маске.

Конструкциона побољшања се огледају у могућности постављања цедила са леве и десне стране образине, уградњи две говорне мембране, могућности коришћења микрофона и система за пијење воде, већем видном пољу и коришћењу корекционих наочара, могућности рада са оптичким справама и модуларности (верзија средства за тенкесте и пилоте). Све наведено обезбеђује високу физиолошку подобност за дуготрајно ношење заштитног средства.

Образине НХБ заштитних маски четврте генерације углавном су израђене од хало-бутил гуме, што омогућава дужи век трајања, бољу деконтаминабилност, а уз додатке и отпорност на пламен. Производе се са панорамским визирима или сферичним равним окуларима од ињекционо пресованог поликарбоната (већа механичка отпорност) са видним пољем око 80 %. Поседују и додатне окуларе за заштиту од светлосног бљеска нуклеарне експлозије. Посебно су усавршени поруб за заптивање и систем трака за затезање, тако да је смањен притисак маске на главу и лице [40].

Комбиновани филтри, као витални и најзначајнији део сваке заштитне маске четврте генерације, унапређени су у сваком погледу у односу на комбиноване филтре заштитних маски претходних генерација. Побољшања су постигнута применом савремених софистицираних технологија при пројектовању и производњи сваког подскопа комбинованог филтра, са посебном пажњом посвећеном гасном и противаеросолном филтру који улазе у састав комбинованог филтера. Унапређења се огледају кроз: употребљене улазне материјале и компоненте високог квалитета, побољшане и уравнотежене физичке карактеристике подскопова комбинованог филтра, побољшане карактеристике адсорбента у гасном делу филтра, изузетне филтрирајуће карактеристике материјала од којих је начињен филтрирајући медијум комбинованог филтра, као и кроз смањене вредности отпора комбинованог филтра протоку ваздуха.

2.2.2. Заштита респираторних органа у МО и ВС

Република Србија је једна од малог броја земаља у свету које пројектују и производе заштитну маску са свим подсклоповима за припаднике своје војске [43]. Данас се у МО и ВС употребљавају заштитне маске друге генерације тип М2 и М2Ф, заштитна маска треће генерације М2ФВ и заштитна маска четврте генерације М3.

Заштитна маска М2 (ЗМ М2) усвојена је у опрему Југословенске народне армије (ЈНА) 1986. године (Слика 12.а). У односу на претходну, заштитну маску М1 која је развијена 1959. године на концепту америчке заштитне маске, представљала је значајан напредак, пре свега у погледу ефикаснијег запитивања образине на лице, односно укупног степена заштите [40]. Време заштите тела образине израђене од природне гуме на дејство капи S-иперита може бити минимално 180 минута. Поље вида са маском је 70 % од нормалног. Транспарентност стакала је већа од 87 %. Функционална је у температурном интервалу од -30 °С до +50 °С.

Заштитна маска М2Ф (ЗМ М2Ф) представља усавршену ЗМ М2 са додатком говорне мембране у склопу са вентилом издисања (Слика 12.б). Усвојена је у опрему Војске Југославије (ВЈ) 1993. године. Поседује фоничну јединицу чиме се омогућује добра комуникација. Индекс разумљивости говора је већи од 0,85.

Даљим усавршавањем ЗМ М2 од стране произвођача, корпорације „TRAYAL“, настао је тип маске М2ФВ (Слика 12.в), који се према својим карактеристикама може сврстати у заштитне маске треће генерације. Има за додатак прибор за узимање течности са капацитетом слободног истицања воде у маску кроз прибор од најмање 200 cm³/min [43]. Усвајање ове заштитне маске у опрему ВЈ извршено је 1997. године.



Слика 12. Заштитна маска: а) М2, б) М2Ф и в) М2ФВ

Напредак у процесу развоја ЗМ М2 се огледао и у развоју комбинованог филтра М2 као саставног и виталног дела комплета ЗМ М2, који је представљао знатно побољшану варијанту комбинованог филтра М1. Побољшања се односе на: уградњу прикључка Рд40 који је произведен према савременом стандарду EN 148/1 (омогућено коришћење филтра у склопу заштитних маски М2 и свих типова маски и панорама маски са истим прикључком), побољшане карактеристике импрегнисаног активног угља у гасном делу филтра, уградњу филтрирајућих материјала стране производње који имају декларисане боље филтрирајуће карактеристике.

На основу анализе праваца истраживања у свету и у нашој земљи у области НХБ заштите, у војним научним круговима закључено је да су резултати развоја заштитне маске незадовољавајући у односу на маске савремених армија, те да би требало кренути са развојем нове заштитне маске која би била по својим особинама на нивоу заштитних маски четврте генерације савремених армија. Носилац развоја заштитне маске М3 била је Корпорација „TRAYAL“ из Крушевца у сарадњи са Војнотехничким институтом из Београда. Пред њима је био веома сложен задатак, јер је уз велика финансијска ограничења било потребно пронаћи концепцијска и конструкциона решења, као и нове материјале, што представља велики подухват и за најразвијеније земље света које се баве интензивним развојем заштитне маске.

Заштитна маска М3 (ЗМ М3) је пројектована применом „CAD/CAM“ техником у циљу да обезбеди што боље (анатомско) налегање и комфор носиоцу (Слика 13.). У односу на ЗМ М2 и њене усавршене моделе, код ЗМ М3 је побољшан квалитет образине материјала заменом природне гуме бром-бутил каучуком и остварено повећање времена заштите у односу на капи S-иперита од 3 h на више од 24 h. Конструкцијом образине ЗМ М3 остварена је могућност коришћења комбинованог филтра са леве и десне стране и могућност коришћења корекционих наочара, чиме је знатно олакшано вршење борбених радњи корисника, нарочито леворуким особама и особама са слабијим видом. Уградњом два мала вентила на носном уметку, омогућен је уједначен проток ваздуха у унутрашњост носног уметка и боље размагљивање окулара раздвајањем топлог и хладног ваздуха. Уз то коришћењем транспарентног поликарбоната за израду окулара, постигнута је знатно већа отпорност окулара на удар. Укупно поље вида ЗМ М3 је веће у односу на укупно поље вида заштитних маски М2, М2Ф и М2ФВ и износи 84 % од нормалног, што је на нивоу заштитних маски IV генерације страних армија [44].



Слика 13. Заштитна маска М3

Новом конструкцијом подклопа вентила издисања и његовог носача, као и новим системом еластичних трака који обезбеђује равномерно налегање на теме главе корисника, обезбеђен је поузданији рад и боља херметичност. Функционална је у температурном интервалу од $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Јединица за пренос говора, која се састоји од две говорне мембране, од којих је велика (примарна) говорна мембрана конструисана тако да има боље позиционирање у односу на уста корисника, те боље акустичке карактеристике, што знатно побољшава пренос говора. Индекс разумљивости је већи од 0,85 (на нивоу маске IV генерације).

Систем за узимање течности је конструисан тако да обезбеђује једноставнију и бржу манипулацију са системом и већу безбедност везе црева на масци са чутурицом при боравку на контаминираном земљишту, у односу на одговарајући систем код ЗМ М2ФВ. Проток течности кроз систем за узимање течности је такође на нивоу заштитних маски четврте генерације (већи од $180\text{ cm}^3/\text{min}$) [45].

Развој комплета ЗМ М3 је обухватао и развој комбинованог филтра М3, који представља усавршену варијанту комбинованог филтра М2 у складу са савременим технолошким достигнућима. Усавршавања се односе првенствено на побољшање карактеристика активног угља у гасном делу филтра (квалитетније импрегнисан активан угаљ домаће производње тачно одређеног гранулометријског састава) и уградњу филтрирајућих материјала стране производње који су засновани на нанотехнолошким достигнућима у области технологије филтрирања филтрирајућим материјалима. Овим је постигнуто да квалитет комбинованог филтра М3 буде на нивоу комбинованих филтара четврте генерације ове врсте заштитних средстава.

Опремањем Војске Србије савременом ЗМ М3 обезбеђује се могућност да корисници заштитне маске обављају борбене задатке у контаминираној атмосфери уз очување борбене способности у дужем периоду него са заштитним маскама које су пре тога коришћене у опреми Војске Србије.

2.3. Средства респираторне заштите филтрирајућег типа у цивилству

Током средине 20. века, тежиште истраживања маски је било на заштити од туберкулозе запослених у здравству, тако да је коришћење маски од тканине и газе настављено у медицинске сврхе и током тридесетих и четрдесетих година. Истраживања су била највише усмерена на филтрирајућа својства маске у односу на: 1) близину газе/тканине устима корисника, 2) број слојева филтрирајућег материјала, и 3) тип материјала. Током ових истраживања је установљено смањење од 50 % у распрострањености туберкулозе међу медицинским сестрама које су користиле маску од 6 слојева тканине [46, 47]. Маске од тканог текстила су препоручиване за употребу и током педесетих и шездесетих година, иако је тада већ било уведено и неколико модела маске од нетканих материјала, за једнократну употребу [48].

Упоредо са употребом у медицини, у касним педесетим годинама 20. века, велики произвођачи медицинских производа су увидели да хируршке маске морају бити прилагођене за кориснике са индустријског тржишта. У раним шездесетим, за употребу против не-штетних честица уведена је маска за прашину. Услед потребе радника за удобнијим респираторима које могу носити цео дан, развијени су нови производи за филтрирање честица на радним местима у индустрији, тзв. филтрирајуће полумаске. Ови уређаји су имали једноставан дизајн, који се састојао од нетканих влакана у облику шоље са подесивом металном траком на носу и траком која обезбеђује налагање маске на лице корисника (Слика 14).



Слика 14. Филтрирајућа полумаска у индустрији шездесетих година 20. века

Седамдесетих година, дизајн филтрирајуће полумаске је усавршаван, тако да је уведен у употребу нови модел филтрирајуће полумаске. Имао је вентил који је омогућавао да корисник лако издахне влажан ваздух. Раније су једини респиратори са вентилом били гумени респиратори који су захтевали редовно чишћење и одржавање. Нова филтрирајућа полумаска је побољшала удобност корисника при употреби у условима високе топлоте и влажности, који су критични фактори за време ношења

респиратора на послу. Многи радници су запазили да је филтрирајућа полумаска удобнија од гумене, а послодавци су били захвални због бољег прихватања средстава и мањег обима одржавања истих.

Како су се научна знања проширила у другој половини 20. века, тако је текао и напредак у развоју средстава респираторне заштите. Респиратори су дизајнирани да смање изложеност радника ваздушним контаминантима, док су хируршке маске дизајниране да се користе за више различитих сврха:

- да се ограничи ширење инфективних респираторних секрета болесних особа,
- да се спречи случајна контаминација ране пацијената од микроорганизама нормално присутних у слузи и пљувачки запослених у здравственим установама,
- да се запослени у здравственим установама заштите од прскања крвљу или телесним течностима пацијента, као и од могуће контаминације уста и носа загађивачима који се налазе на рукама.

Филтрирајуће полумаске типа респиратора и хируршких маске (Слика 15.), представљају средства за једнократну употребу и након сваке употребе се морају одбацити [49]. Предвиђене су да се носе у свим приликама где су погодни услови за евентуално контаминирање ваздуха биоагенсима - услед боравка између већег броја болесних или чак и привидно здравих људи (здраве клицоноше), на јавним местима или у окружењу које у нормалним условима не би довело до болести [50].



Слика 15. Филтрирајуће полумаске типа хируршке маске (а) и респиратори (б)

Направљене су од разних врста нетканих материјала, који могу бити од влакана на бази природних или вештачких сировина. Филтрирајући материјал је најчешће начињен од најфинијих нано влакана нетканог полипропиленског материјала. Поре за пролаз ваздуха су величине око 3 nm. Са развојем нанотехнологија филтрирајуће карактеристике ових материјала поседују могућности филтрирања микронских и субмикронских честица [51]. Честа је примена и филтрирајућих полумаски у којима је један од слојева импрегнисан са нано честицама, најчешће сребро-оксида, титанијум-оксида, злата, итд. [52, 53].

Са развојем средстава за респираторну заштиту, у многим земљама света су се развијали и прописи који регулишу њихову употребу. Закони о безбедности и здрављу на раду (Закони заштите на раду) су представљали нову еру у историји јавних напора за заштиту радника од повреда на послу. Закони су дизајнирани да заштите раднике од смрти, повреда и болести које могу бити узроковане послом. Стога, регулишу употребу респираторне заштите на радном месту, те је најчешће дефинисано да послодавци морају имати прописан комплетан програм респираторне заштите, укључујући медицинске процене, одговарајућа тестирања, обуку корисника и евиденције спровођења респираторне заштите. Такође, коришћење средстава личне респираторне заштите се препоручује и за превенцију инфекција кроз националне и локалне мере заштите. Сходно смерницама, хируршке маске и респиратори су најчешће коришћени за спречавање ширења патогена путем респираторних капљица и аеросола [49, 54-58]. Највише су коришћени у земљама Азије, посебно у време епидемије *SARS*, што се показало као круцијално за константну заштиту од овог смртоносног обољења [59-61].

3. Механизам заштите код средстава респираторне заштите филтрирајућег типа

Механизам респираторне заштите код средстава за заштиту органа за дисање филтрирајућег типа, као што су заштитна маска и филтрирајућа полумаска, заснива се на принципу пречишћавања контаминираног ваздуха који се удише кроз филтрирајући медијум уз истовремену изолацију комплетног или дела лица од додира са спољним ваздухом, при чему се редукује концентрација контаминанта из контаминираних околине, уз одговарајући отпор средства при дисању.

Филтрирајући медијум код заштитних маски представља комбиновани филтар, у чији састав улазе гасни филтар (део са активним угљем одређене гранулације који служи само за уклањање гасова и пара) и филтар за честице (део са филтрирајућим материјалом који служи само за уклањање честица) који су смештени у одговарајуће кућиште (Слика 16.).



Слика 16. Заштитна маска са комбинованим филтром (десно приказан пресек)

Код филтрирајућих полумаски филтрирајући медијум је филтрирајући материјал од којег је полумаска делимично или у потпуности сачињена (Слика 17.).



Слика 17. Пресек филтрирајуће полумаске

3.1. Филтрирање кроз филтрирајући материјал филтрирајућег медијума

Да би се постигао модел идеалног заштитног средства (максимална ефикасност заштите уз минималан отпор удисања), произвођачи широм света раде на унапређивању карактеристика материјала који се уграђују у сваки њен подсклоп, са посебном пажњом на филтрирајући медијум као витални и најбитнији део за ефикасност заштите коју заштитно средство треба да обезбеди. Филтрирајући медијуми могу бити на бази материјала влакнасте или грануларне структуре, од песка, стаклених, памучних и азбестних влакана, метала или пластичних материјала, где влакна могу бити уплетена у папирну структуру. Употреба влакнастог филтрирајућег медијума у форми папира заснована је на његовој порозности. Такви влакнасти филтрирајући материјали састоје се од лавиринта влакана различитих пречника који су једнаки или мањи од троструког пречника контаминирајућих честица. Потребно је и да пречник влакна буде мали у односу на растојања између влакана. Добри филтерски материјали имају малу отпорност према кретању аеросола и велики капацитет филтрирања без великог пада притиска [62]. Развојем нанотехнологија, карактеристике филтрирајућих материјала су подигнуте на веома висок ниво, тако да поседују могућности филтрирања како микронских и субмикронских честица [63, 64], тако и гасовитих нечистоћа [65].

Овакав филтрирајући материјал обично у себи садржи влакна од неколико врста материјала, обично од целулозе или стаклених влакана. Влакна од целулозе су у облику трака и чине скелет филтрирајућег материјала, док су влакна од стакла дебљине 0,1-0,01 μm , распоређена су између целулозних влакана и имају одлучујућу улогу у процесу филтрирања аеросола димензија до 1 μm [63]. Високоефикасни филтрирајући медијуми се најчешће праве на бази стаклених влакана са брижљиво одабраним пречницима, који омогућавају потребну ефикасност без прекорачења одговарајућег отпора. Микровлакна од пластичних маса, као што су поливинил хлорид, полистирен и поликарбонат се такође користе у производњи високоефикасних филтара, нарочито у Европи. Пластична влакна се понекад додају филтрирајућем материјалу у концентрацији не већој од 7 %, ради побољшања отпорности на киселине. Такође, мале количине примеса се додају стакленим влакнима ради побољшања карактеристика филтрирајућег материјала, као што је отпорност на буђ, воду, на истезање, итд. [65, 66].

Процес филтрирања контаминираниог ваздуха представља динамичку категорију, јер се током процеса, услед издвајања и задржавања честица, мењају параметри филтрирања који представљају основу за оцену квалитета филтрирајућег медијума. Основни параметри, као што су аеродинамички отпор, пад притиска, ефикасност филтрирања, способност запуњења и проток, нису битни сами по себи, већ као целина,

у садејству. Може се закључити да основни проблем при конструисању нових или избору већ постојећих филтрирајућих медијума, представља налажење зависности између поменутих параметара филтрирања са једне стране, и особина филтрирајућег материјала, режима струјања гаса и карактеристика честица, са друге [67].

У даљем тексту, укратко је дата анализа основних параметара по којима се може судити о квалитету филтрирајућих медијума.

3.1.1. Аеродинамички отпор и пад притиска

Укупан отпор филтрирајућег материјала састоји се из аеродинамичког отпора чистог материјала и отпора наталожених честица на структури материјала.

Аеродинамичка својства филтрирајућег материјала се карактеришу отпором струји ваздуха која протиче кроз њега, тј. разликом притисака ваздуха испред и иза филтрирајућег материјала. Струјање ваздуха кроз филтрирајући материјал је сложени динамички систем са великим бројем малих струја које пролазе кроз канале међу влакнима. Смер струја и њихов облик се мењају у току времена због случајне расподеле канала у филтрирајућем материјалу. Овакав распоред влакана доводи до стварања порозне структуре са различитом расподелом растојања између влакана. Кроз поре (канале) креће се ваздух који носи аеросолне честице. Наведено указује на ламинарни карактер струјања ваздуха у каналима међу влакнима филтрирајућег материјала у ствари представља систем капилара међу влакнима. Зато се отпор филтрирајућег материјала изражава отпором који је потребан за савлађивање сила унутрашњег трења при протикању ваздуха кроз ове канале. Аеродинамички отпор филтрирајућег материјала Δp [Pa] може се изразити једначином [68]:

$$\Delta p = B\eta \frac{vL}{r_k^2} \quad (1)$$

где је:

B - коефицијент пропорционалности [m^2],

η - коефицијент вискозности [Pa·s],

v - линеарна брзина ваздушне струје [m/s],

L - дужина пута ваздуха кроз филтрирајући материјал (дебљина материјала) [m],

r_k - средњи дијаметар каналића међу влакнима [m].

Међутим, отпор који долази од наталожених честица знатно је сложеније и динамичније природе и због постојања многобројних временски промењивих фактора процеса издвајања и задржавања честица, веома је тешко одредити понашање филтрирајућег материјала. При употреби, аеросоли се депонују на влакнима филтрирајућег материјала, што утиче на повећање аеродинамичког отпора. Повећање

аеродинамичког отпора у зависности од задржаних честица аеросола на прегради филтрирајућег материјала може се изразити једначином [68]:

$$K(p - p_0) = (C_0 - C_f)Qt \quad (2)$$

где је:

K - коефицијент пропорционалности [$m \cdot s^2$],

p - отпор филтрирајућег материјала са депонованим аеросолима [Pa],

p_0 - отпор чистог филтрирајућег материјала [Pa],

C_0 - концентрација аеросола испред филтрирајућег материјала [mg/m^3],

C_f - концентрација аеросола иза филтрирајућег материјала [mg/m^3],

Q - запремински проток ваздуха [m^3/s],

t - време филтрирања [s].

Промена отпора филтрирајућег материјала са депонованим аеросолима p [Pa] је експоненцијална функција [68]:

$$p = p_0 e^{-K \frac{V_a}{L}} \quad (3)$$

где је:

K - кофицијент капацитета [m^{-2}],

V_a - запремина депонованих аеросола [m^3].

Отпор филтрирајућег материјала је утолико мањи за константне вредности (L и v), уколико је пречник влакана већи. Са друге стране, отпор филтрирајућег материјала је утолико већи, уколико је његова дебљина већа. Са истим пречницима влакана могуће је добити различите дебљине филтрирајућег материјала, односно, отпор ће зависити од његове густине и порозности. Вернер и Кларенбург су дефинисали отпор филтра p_0 [Pa] у зависности од порозитета филтра математичким моделом [68]:

$$p_0 = K_0 \frac{\eta}{\rho g} Lv(1 - e)^{3/2} \quad (4)$$

где је:

K_0 - коефицијент отпорности,

η - вискозитет ваздуха [Pa·s],

ρ - густина филтрирајућег материјала [kg/m^3],

g - убрзање земљине теже [m/s^2],

L - дебљина филтрирајућег материјала [m],

v - брзина струјања ваздуха [m/s],

e - порозитет филтрирајућег материјала.

Из свега изложеног следи да аеродинамички отпор зависи од величине канала између влакана, густине и дубине филтрирајућег материјала, а индиректно и од температуре настале унутрашњим трењем (са повећањем температуре расте вискозност ваздуха, а самим тим и аеродинамички отпор), као и количине депонованих аеросола. Генерално, отпори изазивају пад притиска, који као једна од најважнијих карактеристика филтрирајућег материјала, утиче на ефикасност филтрирања, век трајања филтрирајућег материјала, потрошњу енергије и укупне трошкове филтрирања.

3.1.2. Ефикасност филтрирања

Под појмом ефикасности филтрирања подразумева се оцена функционисања филтрирајућег материјала у смислу издвајања честица из гасне струје. Другим речима, то је практично оцена остваривања механизма издвајања честица.

Филтрирање је метода раздвајања аеросола (који се налази у ваздуху) при струјању кроз филтрујућу средину, где се чврсте или течне честице које лебде у ваздуху, задржавају на или у филтрирајућем материјалу, док ваздух пролази кроз филтрирајући материјал.

Аеросол је мање или више постојан систем, састављен од гасовите фазе, као носеће, и у њој диспергованих чврстих честица или микроскопских капљица. У односу на пречник честице (R) аеросоли се деле на [68]:

- високодисперзне ($R < 0,1 \times 10^{-10} \text{ m}$),
- финодисперзне ($0,1 < R < 10 \times 10^{-10} \text{ m}$) и
- грубодисперзне ($R > 10 \times 10^{-10} \text{ m}$).

Највећи број честица аеросола из ваздуха је величине 0,1 до $10 \times 10^{-10} \text{ m}$. Течне честице имају најчешће облик лоптице или капљице, док честице прашине или дима могу имати различите облике. Захваљујући својој величини, практично се не таложе у атмосфери данима и недељама.

У оквиру група, честице аеросола, могу бити исте величине (монодисперзне) или различите величине (полидисперзне). Смањењем величина полидисперзних честица, разлика у крупноћи између честица се смањује, па аеросол тежи монодисперзности.

Аеросоли су динамички непостојани системи, јер се стално налазе под утицајем спољашних и унутрашњих сила, које делују између самих честица и средине. Честице аеросола, слично молекулима, подлежу Брауновој дифузији, јер због ударања молекула гаса настаје њихово хаотично кретање и мешање. Смањењем величина честица

Брауново кретање се увећава. Честице високодисперзних аеросола практично не падају у мирном ваздуху, већ се слободно преносе у свим правцима.

Филтрирање грубодисперзних чврстих аеросолних честица, где је пречник честица аеросола већи од пречника канала (код филтара мале порозности), заснива се на деловању филтрирајућег материјала као сита са настајањем порозног талоба на горњем слоју филтрирајућег материјала, који и сам постаје филтрирајући медијум аеросолу. Овај талоб затвара поре филтрирајућег материјала, смањује коефицијент пробијања и повећава аеродинамички отпор.

Филтрирање грубодисперзне магле доводи до потпуног задржавања честица магле у првом слоју филтрирајућег материјала. При томе је могуће међусобно спајање, тј. сливање честица у крупније капи. Тада се образују опне, ако су влакна лиофобна или капи бивају упијене од стране филтрирајућег материјала ако су влакна лиофилна, при чему се влакна влаже и надимају, што доводи до смањења међупростора између влакана, због чега расте аеродинамички отпор. При томе може доћи и до повећања продирања, ако се приликом упијања капљица, међусобно слењују танка влакна филтрирајућег материјала.

Висока порозност филтрирајућег материјала је повезана са ниским отпором на проток ваздуха. У филтрирајућем материјалу са униформно распоређеним влакнима, индивидуална влакна су релативно удаљена једна од другог у односу на шупљине између њих, које су веће од честица које се издвајају из ваздуха. То значи да у случају високоефикасне филтрације, механизам филтрирања није просто просејавање. У суштини, када би имали филтар за ваздух са порама субмикронских димензија, то би био лош филтар, јер би свака задржана честица у пори била запушена задржаном честицом и поре би се врло брзо затвориле, а ваздух не би могао да пролази кроз филтар. Напротив, филтрирајући материјал задржава честице из ваздуха, иако су растојања између влакана далеко већа од димензија честица које се филтрирају на неколико добро дефинисаних начина, који су повезани са динамичким карактеристикама аеросола.

Филтрирање аеросолних честица, чије димензије не прелазе неколико микрона, као ни величину канала између влакана, је веома сложен процес. Процес филтрирања у том случају може се поделити на две фазе:

- честице ношене струјом ваздуха доспевају у филтрирајући материјал и приближавају се површини влакна филтрирајућег материјала,
- честице додирују површину влакна и везују се за њега.

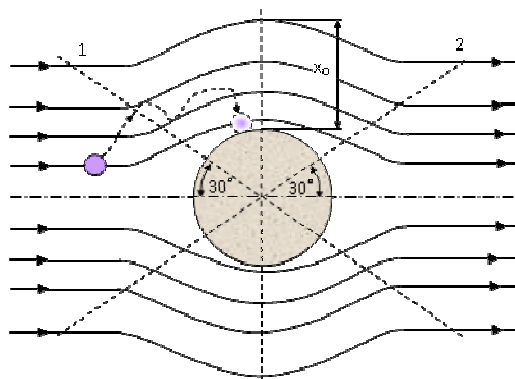
Аеросолне честице бивају задржане на површини влакана дејством сила адхезије, која је резултат дисперзионог ефекта међусобног деловања молекуларних сила, осим у случају већих честица (пречника преко $5 \mu\text{m}$), које не продиру у дубину филтрирајућег материјала, а могу се због своје масе одлепити са површине влакана.

Приближавање аеросолних честица влакнима је резултат следећих механизма издвајања честица:

- а) дифузије,
- б) захватања (интерцепције) честица влакнима,
- в) инерције,
- г) гравитационог таложења честица (као резултат сопствене масе),
- д) електростатичког привлачења између честица аеросола и влакана, и
- ђ) привлачења аеросолних честица услед дејства Ван дер Валсових сила.

Објашњење:

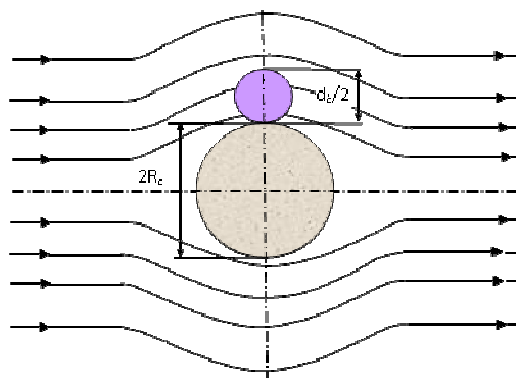
а) У случају филтрирања субмикронских честица (испод $1 \mu\text{m}$), највећи удео у механизму филтрирања има дифузија, тј. Брауново кретање честица у правцу влакана. Ове честице аеросола, код којих је изражено Брауново кретање, не следе струју носећег гаса, већ при опструјавању влакана филтра, додирују влакно и због деловања сила адхезије остају на њему (Слика 18.).



Слика 18. Таложење честица на влакнима механизмом дифузије

Што је мањи радијус честице и мања брзина носећег гаса (ваздуха), то је веће таложење честица под утицајем дифузије. Повећањем радијуса честице и повећањем протока ваздуха, повећава се продирање честица.

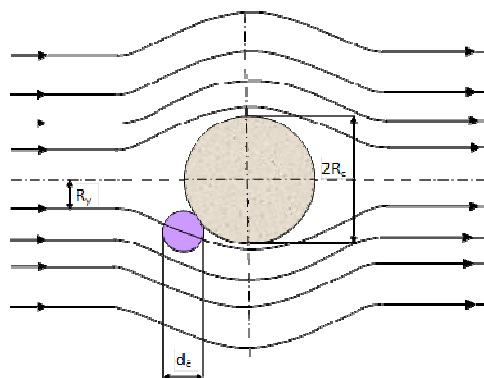
б) Непосредно захватање (интерцепција) честица од стране влакна, тзв. геометријски ефекат, је посебно изражен код честица занемарљиве инерције, јер струјница дуж које се честица креће пролази поред влакна на одстојању од површине влакна мањем или једнаком радијусу честице. У овом случају долази до судара честица са влакном филтра. Могућност задржавања честице на површини влакана имају честице које се налазе у граничним слојевима ваздушне струје (Слика 19.).



Слика 19. Таложeње честица на влакнима механизмом интерцепције

Дељење ваздушне струје у филтрирајућем материјалу на велики број малих струја знатно повећава број честица, које се могу наћи у поменутиим граничним слојевима, а тиме и вероватноћу слеplивања честица на површину влакана. Вероватноћа захвата честице од стране влакна расте са порастом радијуса честица. Захват честица од стране влакна слеplивањем честице на површину влакна је један од процеса са највећим уделом у укупном механизму филтрирања. Продирање честица, које се филтрирају овим механизмом, се смањује са повећањем радијуса честица. Промена брзине ваздушне струје нема значајан утицај на филтрирање честица овим процесом.

в) Приближавање честица влакнима због инерције настаје променом правца струјања ваздуха, као и повратних ваздушних струја. Овај ефекат се не може занемарити, јер инерција расте са повећањем димензија и масе честица и линеарне брзине ваздушне струје, тако да честице не следе путању струје гаса која опструјава влакно филтра, већ настављају да се крећу мање закривљеном путањом, па услед тога долази до њиховог сударања са влакнима и задржавања на њима (Слика 20.). Стога се продирање повећава повећањем радијуса и масе честица, као и брзине ваздушне струје.



Слика 20. Таложeње честица на влакнима механизмом инерције

г) Таложeње честица на влакнима може имати утицај на механизам филтрирања аеросола у случају да њихове димензије и маса имају довољно велике вредности, тако да се дуже задржавају унутар филтрирајућег материјала, који има велику дебљину и при чему је релативно низак проток ваздуха. Међутим, филтрирајући материјал има малу дебљину, а честице аеросола мале димензије и масу. Зато ефекат таложeња честица на влакнима практично нема утицај на укупан сложени механизам филтрирања.

д) Издвајање честица електростатичким привлачењем дешава се у случају када се филтрирајући материјал састоји од наелектрисаних влакана, која индукују електрично наелектрисање супротног знака на аеросолним честицама. Овај ефекат је теоретски битан у случају честица субмикронских димензија, али није сталан због присуства влаге или дугог складиштења филтрирајућег материјала, при чему се влакна разелектришу, па његов удео у механизму филтрирања није значајан.

ђ) Могућност филтрирања, у случају да одлучујући ефекат буде Ван дер Валсово привлачење је мало вероватна, јер се ове интеракције јављају на малим растојањима од влакна, реда 10^{-10} m, и карактеристичне су за честице које су већ у контакту са влакном.

Може се закључити да су најзначајнији ефекти у сложеном механизму филтрирања: дифузија, интерцепција и инерција. Њихово независно деловање доводи до селективности филтрирања и појаве максимума збирног деловања, сходно зависности продирања од радијуса честице или линеарне брзине ваздуха.

Повећавањем температуре повећава се интензитет Брауновог кретања честица, чиме се смањује продирање аеросола кроз филтрирајући материјал и максимум продирања се помера у област већег радијуса честица. Повећање брзине ваздушне струје повећава улогу инерције, смањује време задржавања аеросолних честица у слоју филтрирајућег материјала и тиме снижава улогу дифузије честица. При оваквом теоретском разматрању механизма филтрирања усвојене су следеће апроксимације [69]:

- филтрирајући материјал је исте дебљине на свим тачкама пресека,
- облик влакана је цилиндричан и расподела пречника влакана је хомогена,
- сва влакна су распоређена нормално на ток струјања ваздуха.

У стварности, реалан филтрирајући материјал има другачије карактеристике, па су због тога и експериментални резултати приликом испитивања механизма филтрирања у већој или мањој мери сагласни са теоријом [70].

3.1.3. Утицај различитих фактора на продирање аеросолних честица кроз филтрирајући материјал

Сагледавајући основне параметре филтрирања, може се извршити анализа њиховог међусобног утицаја, као и утицај на ефикасност издвајања. Од основних параметара можемо издвојити:

- структурне особине филтрирајућег материјала (пречник влакна, активна филтрирајућа површина, дебљина и порозност),
- карактеристике аеросола (пречник, облик и агрегатно стање честице) и
- режим протицања ваздуха (брзина, температура, густина, вискозност и влажност).

Утицај пречника влакна, порозности и дебљине филтрирајућег материјала

Генерално, повећањем дебљине и густине филтрирајућег материјала и смањењем пречника влакна, ефикасност таложења честица расте у односу на све ефекте издвајања, због чега расте аеродинамички отпор. Међутим важан елемент карактеристике влакна је и облик попречног пресека и храпавост, који такође утичу на ефикасност раздвајања честица.

Повећаном густином паковања филтрирајућег материјала долази до смањења пора, па струјнице пролазе на мањим удаљењима од површине влакана, чиме аеродинамички отпори расту, али и ефикасност таложења честица. Генерално, при избору филтрирајућег материјала, тражи се баланс између повећања аеродинамичких отпора и повећања ефикасности.

Сходно наведеном, структурне особине филтрирајућег материјала морају се тако одабрати да се задовоље захтеви за задовољавајућу ефикасност и отпор. Филтрирајући материјали са мањим пречником влакна имају боља заштитна својства од оних који су састављени од дебљих влакана. Мало повећање густине филтрирајућег материјала доводи до знатног смањења површине пресека канала између влакана, до смањења продирања, али и до пораста аеродинамичког отпора. Дебљина савремених филтрирајућих материјала износи 0,8 – 1,3 mm. Код такве дебљине, нехомогеност материјала, оштећење слоја или присуство примеса, могу довести до знатног повећања продирања. Да би се то избегло, филтрирајући материјали се израђују у више слојева, сваки дебљине 0,2 до 1 mm [67, 68].

Утицај пречника, облика и агрегатног стања честице

При повећању пречника честице за дати филтрирајући материјал, продирање ће се смањивати за грубо диперзне честице због инерције и захвата честица од стране влакана, чиме се објашњавају висока заштитна својства филтрирајућег материјала у

односу на грубо дисперзне аеросоле. У случају фино дисперзних честица, са повећањем пречника честице смањује се продирање, јер је одлучујући ефекат у механизму филтрирања дифузија. У средњој области радијуса честице захват, инерција и дифузија имају приближно подједнаке улоге, које су релативно мале. Величина честица аеросола која одговара максимуму продирања, различита је за различите филтрирајуће материјале и услове филтрирања - незнатно је већа код материјала са већим пречником влакана, а мања код материјала веће густине и при већој брзини струјања ваздуха.

Експерименти су показали да у филтрима највећи пролаз имају честице величине 0,2 до 0,5 μm . Честице испод 0,3 μm таложе се превасходно дифузијом, а крупније под дејством геометријског ефекта и инерцијалних сила. Честице аеросола димензија 1 до 2 μm често не продиру у дубину филтрирајућег материјала, већ се задржавају на површини у облику fine прашине и то даље смањује продирање, а аеродинамички отпор се повећава [68, 70].

На продирање честица кроз филтрирајући материјал такође утичу облик честица и агрегатно стање. У случају честица истих димензија, у вакууму (како би елиминисали утицај брзине ваздуха), честице сферног облика би се теже задржавале у филтрирајућем материјалу, него честице неког другог, неправилног облика. Утицај агрегатног стања је значајан код дужег трајања процеса филтрирања. У процесу филтрирања чврстих честица аеросола, задржане честице на влакнима се таложе на већ присутним честицама и то повећава ефикасност филтрирања, тј. смањује продирање, док у случају течних аеросола, течност влажи филтрирајући материјал и поре могу постати уже због бубрења влакана и то даље утиче на ефикасност филтрирања порастом продирања.

Утицај брзине протицања, температуре и влажности ваздуха

Брзина струјања ваздуха кроз филтрирајући материјал има сложени утицај на продирање аеросолних честица. Брзина може повећати или смањити ефикасност филтрирања. Са повећањем брзине гаса кроз филтрирајући материјал опада ефикасност таложења по механизму дифузије, а расте по механизму инерције. Повећањем брзине струјања ваздуха, односно запреминског протока, кроз филтрирајући материјал, продирање грубо дисперзних честица се смањује, због смањења утицаја дифузије и повећања утицаја инерције у механизму филтрирања. При филтрирању фино дисперзних честица аеросола улога инерције је релативно занемарљива, па се зато при повећању брзине ваздушне струје продирање повећава. Брзина струјања ваздуха нема неког нарочитог утицаја на издвајање честица геометријским ефектом.

Температура има значајан утицај на продирање аеросола приликом процеса филтрирања у случају фино дисперзних честица аеросола. Повећањем температуре гасне струје интензивира се Брауново кретање и узрокује повећање коефицијента дифузије, одн. ефикасности таложења по основу ефекта дифузије, при чему се смањује продирање. Међутим, истовремено са повећањем температуре долази до смањења ефикасности одвајања честица инерцијалним ефектом. На филтрирање грубо дисперзног аеросола температура нема утицај.

Влажност ваздуха нема значајан утицај на продирање аеросола и може се занемарити, осим у случају филтрирања ваздуха засићеног воденом паром, при чему продирање расте. Ако филтрирајући материјал упије влагу у количини 10 % од своје масе, водене капљице ће испуњавати простор канала између влакана и продирање ће се нагло повећати.

Утицај допунских фактора на ефикасност и отпоре филтрирања

У допунске факторе који утичу на ефикасност филтрирања убрајају се фактори који настају у самом филтрирајућем материјалу, а производ су промене у њеној структури током експлоатације. Могу бити изазвани различитим појавама: таложење честица на препрекама, капиларне појаве, деструкција филтрирајућег материјала, одношење честица са површине влакана, итд.

Таложење честица на препрекама

У току процеса филтрирања издвојене честице се не распоређују правилно преко површине влакна, него образују агрегате у виду ланца, те се повећава дебљина препреке (влакно + исталожена честица) чиме се смањује порозност, а увећава ефикасност филтрирајућег материјала уз незнатно увећање отпора. При дужем филтрирању или при већим концентрацијама честица аеродисперзног система, на површини се образује хомогени слој који утиче на повећање отпора. Уколико су аеросол и проток константних карактеристика, маса исталоженог аеросола m [g], као и пораст отпора Δp [Pa], директно су пропорционални времену филтрирања t [s], што се може представити једначинама [68]:

$$m = C_0 Q t \quad (5)$$

$$\Delta p = \Delta p_0 e^{k_0 t} \quad (6)$$

где је:

C_0 – концентрација аеросола испред филтра [mg/m^3],

Q – запремински проток ваздуха [m^3/s],

t – време филтрирања [s],

k_0 – константа која зависи од карактеристика честица аеросола [s^{-1}].

Капиларне појаве

Карактеристичне су за влажне филтре (одвајаче магле) јер услед њиховог деловања долази до слепљивања влакана, чиме се мења хомогеност филтрирајућег материјала, а тиме и ефикасност филтрирања.

Деструкција филтрирајућег материјала

Представља процес разлагања структуре филтрирајућег материјала приликом пролаза хемијских, агресивних гасова или честица (може доћи и код великих температура). У условима филтрирања киселих и базних аеросола у дужем временском периоду, они могу деловати агресивно на структуру материјала и утицати на смањење ефикасности филтрирања.

Одношење честица са површине влакана

Наталожене честице на површинама елемената филтрирајућег материјала могу бити одвојене услед струјања ваздуха већим брзинама. Одвајање се дешава у случају превладавања адхезионих сила између самих честица у слоју, и честица и елемената препреке, а зависе од величине, облика, хемијског састава, наелектрисања и геометрије честица и влакана, као и од влажности гаса. Генерално, интензитет адхезионих сила расте са увећањем величине честица, чиме се повећава ефикасност таложења.

Међусобна зависност карактеристика филтрирајућег материјала

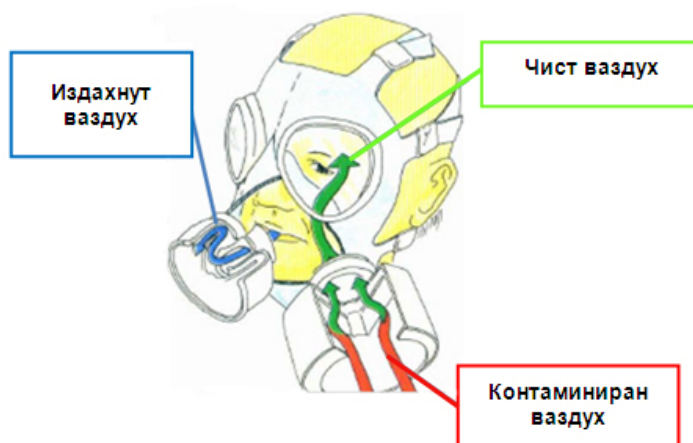
Поменуте карактеристике филтрирајућег материјала се налазе у тесној међусобној зависности. У условима експлоатације филтрирајућег материјала долази до одређених промена у смислу повећања степена његове запуњености, што за последицу има повећање аеродинамичког отпора филтрирајућег материјала, а тиме се непосредно утиче на проток гасне фазе и ефикасност њеног филтрирања.

3.2. Начин остваривања респираторне заштите код заштитних маски и филтрирајућих полумаски

Принцип рада појединих делова заштитне маске типа пуна маска при остваривању респираторне заштите приказан је на Слици 21.

Приликом коришћења, средство мора да обезбеђује херметичност са лицем корисника. При удисању затвара се вентил издисаја на образини заштитне маске, ствара се потпритисак испод образине и контаминирани ваздух пролази кроз филтар, при чему се чврсти и течни аеросоли и честице прашине задржавају на противаеросолном филтру, а гасови и паре адсорбују на слоју активног угља. Тако пречишћен ваздух струји даље кроз вентил за удисање, кроз канале које формира спољашња форма носног уметка и унутрашња форма образине, као и кроз вентиле на носном уметку. Након тога

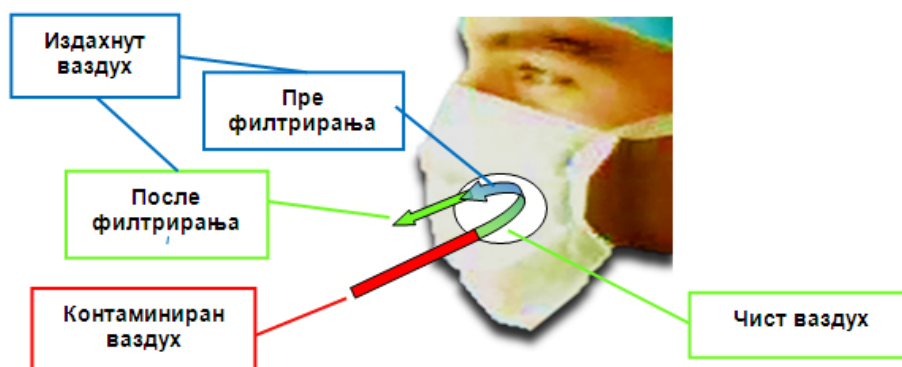
пречишћени ваздух улази у органе за дисање. Приликом издисања отвара се само вентил издисаја и издахнути ваздух пропушта напоље у атмосферу. Такав рад вентила за удисање и вентила за издисање омогућава правилно функционисање заштитне маске, тј. улажење контаминираног ваздуха само кроз филтар, а излажење издахнутог ваздуха само преко вентила за издисање [71]. Сходно изложеном, ефикасност заштите ових средстава зависи од целокупног рада свих делова заштитне маске, али првенствено од филтрирајућег материјала уграђеног у филтар и његових карактеристика.



Слика 21. Принцип функционисања заштитне маске

Принцип рада појединих делова филтрирајуће полумаске при остваривању респираторне заштите приказан је на Слици 22.

Приликом коришћења, средство мора да обезбеђује херметичност са лицем корисника. При удисању се ствара потпритисак испод филтрирајуће полумаске, врши заптивање по линији налегања на лице корисника и контаминирани ваздух пролази кроз филтрирајући материјал, при чему се задржавају чврсти и течни аеросоли и честице прашине. Након тога пречишћени ваздух улази у органе за дисање. Приликом издисања издахнути ваздух опет пролази кроз филтрирајући материјал напоље у атмосферу. На тај начин, врши се филтрирање ваздуха у оба смера – и издахнутог и удахнутог, за разлику од било које заштитне маске типа пуна маска која врши филтрирање само удахнутог ваздуха. Ово даје већи допринос у погледу сузбијања ширења заразе у било којој средини, јер штити и окружење корисника заштитног средства од могуће појаве аеросола контаминанта [25]. Сходно изложеном, ефикасност заштите ових средстава је скоро у потпуности условљена бројем слојева филтрирајућег материјала и њиховим карактеристикама, уз одговарајућу физиолошку подобност средства за употребу.



Слика 22. Принцип функционисања филтрирајуће полумаске

У оба наведена случаја, у реалним условима, филтрацијом се постиже само релативна заштита, тј. таква заштита која обезбеђује смањење присутних опасности на дозвољене вредности, са циљем њиховог смањења на минимум. Без обзира на степен ефикасности заштите, у простор између прикључка за дисање заштитног средства и лица корисника (мртви простор заштитног средства) увек продире извесна - мала количина аеросола контаминанта. Појава ваздуха у мртвом простору у фази удисања, а са њим и потенцијалног контаминанта, могућа је његовим проласком на следеће начине:

- кроз филтрирајући медијум и елементе који су редно везани на њега,
- кроз вентил издисања (уколико је уграђен) када не остварује потпуно затварање, и
- по линији налегања прикључка за дисање на лице корисника.

Наведено карактерише следећа једнакост:

$$V_u = V_c + V_v + V_z \quad (7)$$

где је:

V_u – укупна запремина ваздуха која продире по свим могућностима проласка [m^3],

V_c – запремина ваздуха која продире кроз филтрирајући медијум и елементе који су редно везани на њега [m^3],

V_v – запремина ваздуха који продире кроз вентил издисаја [m^3],

V_z – запремина ваздуха који продире по линији налегања прикључка за дисање [m^3].

Количина ваздуха која продре у мртви простор утолико је већа, уколико је испод прикључка за дисање већи потпритисак (разређење ваздуха) настало удисањем. При издисању у мртвом простору настаје притисак, услед чега ваздух излази напоље. Концентрација контаминанта испод прикључка за дисање C [mg/m^3], може се израчунати према изразу:

$$C = C_o \frac{V_z}{V_c} (1 - e^{-\frac{V_c t}{W}}) \quad (8)$$

где је:

C_o - концентрација контаминанта у спољашној средини [mg/m^3],

t - време трајања удисаја [s],

W - запремина мртвог простора заштитног средства [m^3].

У практичним условима може се узети да је:

$$C = C_o \frac{v}{V} \quad (9)$$

односно:

$$\frac{C}{C_o} = \frac{v}{V} \quad (10)$$

Овај израз се користи само за један удисај, а однос концентрације C/C_o представља коефицијент продирања, одн. коефицијент пробијања K_p [%] и изражава се:

$$K_p = \frac{C}{C_o} 100 \quad (11)$$

или

$$K_p = \frac{v}{V} 100 \quad (12)$$

У стварним условима употребе заштитног средства тешко је утврдити количину контаминанта која доспева у мртви простор заштитног средства због продирања по линији налегања прикључка за дисање на лице корисника и кроз филтрирајући медијум, јер су присутни утицаји разних чиниоца типа: отпор средства при дисању, длаке на лицу, коса, зној и прљавштина на лицу, нагли покрети главе, и сл. [68].

Ако се посматра случај да заштитна средства користе високоефикасне филтрирајуће медијуме и да су пропуштање вентила издисања и проток ваздуха кроз филтрирајући медијум и елементе који су редно везани на њега изузетно мали (занемарљиве вредности), онда су заштитне карактеристике одређене првенствено заптивањем заштитног средства на лице корисника. За квантитативну оцену продирања контаминаног ваздуха по линији налегања прикључка за дисање на лице корисника користи се једначина:

$$(V_z + V_v)C_o = \frac{v}{n}(C_z + C_v) = \frac{v}{n}C_m \quad (13)$$

где је:

C_z - концентрација контаминаната у мртвом простору због продирања по линији налегања [mg/m^3],

C_v - концентрација контаминаната у мртвом простору због продирања кроз вентил издисаја [mg/m^3],

C_m - укупна концентрација контаминанта у мртвом простору [mg/m^3],

v - запремина плућне вентилације [m^3/s],

n - фреквенција дисања [min^{-1}].

Ако се посматра случај идеалног модела заштитног средства, сав ваздух који доспева у мртви простор долази кроз филтрирајући медијум (продирање контаминанта по линији налегања прикључка за дисање на лице корисника, као и пропуштање вентила издисања је равно нули), те важи:

$$V_z = 0, \quad V_v = 0, \quad V_u = V_c \quad (14)$$

Тада заштитне карактеристике заштитног средства зависе од особина уграђеног филтрирајућег медијума, односно он првенствено утиче на укупно пропуштање према унутрашњости заштитног средства. Тај утицај је већи што су већа оптерећења корисника, када се протоци удисања повећавају, а тиме и продирање аеросола [68].

Поред тога што треба да пружи ефикасну заштиту у контаминираној атмосфери, заштитно средство треба да омогући и несметано извршавање чак и најнапорнијих радних задатака. Поремећај физиолошких функција делом је условљен физиолошким карактеристикама корисника, а делом карактеристикама заштитног средства. Експериментално је утврђено да употреба заштитних средстава типа полумаски и пуних маски има одређене негативне утицаје на физиолошко стање организма који се огледају у повећању потрошње кисеоника и напора при дисању [72-76], отежаној комуникацији, повећању притиска на главу²⁰, крвног притиска и умора [73], смањењу видљивости, смањењу времена и ефикасности вршења умног и физичког рада и личног комфора [68, 75, 77], као и повећању анксиозности корисника [78].

У условима оптерећења које одговара тешком физичком напрезању, радна способност је првенствено одређена напрезањем респираторног система носиоца. Карактеристике функционалности заштитног средства, с обзиром на физиолошку подобност, изражавају се преко захтева за отпор при дисању и мртви простор средства.

Отпор при дисању је кључни фактор негативног деловања заштитног средства на људски организам. При удисају отпор највише пружају прикључак за дисање и филтрирајући медијум, а при издисају прикључак за дисање и вентил издисаја. Отпор је увек већи при удисају него при издисају. Величина отпора зависи од интензитета дисања, односно запреминског протока ваздуха, јер је рад плућа условљен запремином плућа, као и трајањем удисаја и издисаја, тј. учесталашћу и дубином дисања. При нормалном дисању просечни минутни волумен дисања²¹ (МВД) износи од 6 до 8 l/min (нормална фреквенција дисања (n) износи 12 до 16 min⁻¹, а запремина плућне

²⁰ Притисак на главу настаје затезањем трака како би се обезбедила херметичност, односно заптивеност обрине са лицем, што утиче и на појаву бола код дужег ношења.

²¹ Минутни волумен дисања (МВД) означава количину ваздуха коју удахнемо (или издахнемо) у времену од једне минуте и зависи од фреквенције дисања (n), одн. броја удисаја/издисаја у времену од једне минуте и дисајног волумена (v), одн. количине ваздуха која се удахне/издахне у једном удисају/издисају.

вентилације (v) око 500 ml) [79]. При телесној активности фреквенција и дубина дисања расту, тако да у току тешког физичког рада или бављења спортом МВД може порастати и на око 100 l/min (n око 35-40 min⁻¹, v око 2 l), а код врхунских спортиста при активности максималног интензитета и на преко 150 l/min (n_{\max} око 60-70 min⁻¹, v_{\max} око 2,5 l) [80].

Повећањем запреминског протока ваздуха повећава се и отпор заштитних средстава при дисању. Ово доводи до смањења учесталости дисања и успорене вентилације плућа [74, 75], што директно утиче да количина кисеоника која доспева у плућа буде умањена, чак до недостатка кисеоника. Повећању отпора при дисању допринос даје и повећање количине заосталог угљен-диоксида у мртвом простору заштитног средства, тако што утиче на смањење количине кисеоника у удахнутом ваздуху. Ово је посебно изражено код интезивног физичког напрезања, када се повећава концентрација угљен-диоксида. Тада се стимулишу респираторни центри да изазивају већу вентилацију, како би се успоставила потребна концентрација кисеоника, те се дубина дисања повећава до 70 % капацитета, а такође расте и учесталост дисања, те је и отпор при дисању већи. Овај компензациони механизам почиње да делује када концентрација угљен-диоксида порасте за 2 %, али се клинички симптоми примећују и при мањем повећању концентрације (када је концентрација већа од 1,1 %) [68].

На основу свега изложеног, може се видети да механизам личне респираторне заштите код заштитних средстава зависи првенствено од пропуштања према унутрашњости аеросола контаминанта и ефикасности филтрирања аеросола контаминанта кроз филтрирајући медијум, уз услов одговарајућег отпора удисања за оба процеса. У складу са тим, мора се извршити испитивање наведених параметара, јер су они кључни за поуздану процену ефикасности заштите коју уз одговарајућу физиолошку подобност заштитно средство може да обезбеди.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕО

4. Материјали и методе

Истраживање за потребе ове дисертације реализовано је у оквиру научно-истраживачког пројекта ТР 34034 који финансира Министарство просвете, науке и технолошког развоја под називом: „Примена наноматеријала у унапређењу средстава респираторне и перкутане заштите у условима еколошког дисбаланса изазваног радиоактивном, хемијском и биолошком контаминацијом“. Експериментални део је спроведен кроз лабораторијска испитивања при Одељењу за хемијску и нуклеарну заштиту Сектора за материјале и заштиту Војнотехничког института у Београду, а снимање узорака филтрирајућих материјала СЕМ техником²² у лабораторији Катедре за неорганску хемијску технологију Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду.

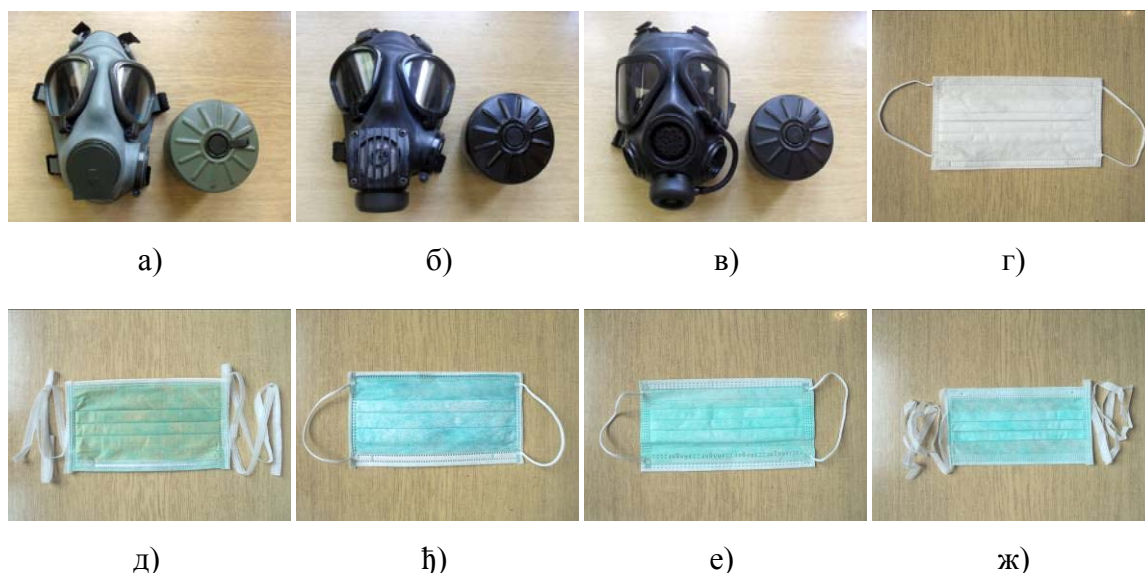
Имајући у виду циљ истраживања, а у сврху процене ефикасности заштите коју може да обезбеди средство респираторне заштите у случају излагања корисника контаминацији биолошким агенсима путем дисајних органа и његове физиолошке подобности током употребе, извршено је испитивање по следећем:

1. испитивање ефикасности заштите средстава личне респираторне заштите филтрирајућег типа без погона (преко пропуштања према унутрашњости и преко пропуштања кроз филтрирајући медијум), у вештачки симулираним условима контаминације средине биолошким агенсима,
2. испитивање физиолошке подобности средстава личне респираторне заштите филтрирајућег типа без погона (преко отпора при удисању).

За потребе наведених испитивања су коришћени узорци прикључака за дисање заштитне маске М2 (ЗМ М2), заштитне маске М2Ф (ЗМ М2Ф), заштитне маске М3 (ЗМ М3), узорци комбинованих филтара који се користе са наведена три модела заштитне маске – два модела комбинованог филтра М2 (уз ЗМ М2 КФ М2 и уз ЗМ М2Ф КФ М2Ф) и комбиновани филтар М3 (КФ М3), као и узорци пет модела филтрирајуће полумаске - епидемиолошке маске антимикробне (ЕМ1), епидемиолошке маске са „нано“ филтром (ЕМ2) и хируршких маски (ХМ1, ХМ2 и ХМ3)²³. На Слици 23. је дат приказ испитиваних узорака.

²² Скенирајућа електронска микроскопија (СЕМ) – техника за карактеризацију површине материјала која се заснива на скенирању површине испитиваног узорка врло прецизно фокусираним снопом електрона.

²³ Модели чији су узорци испитивани обележени су како је дато у заградама у сврху њиховог једноставнијег приказа, обраде и дискусије резултата.



Слика 23. Приказ узорка испитиваних модела заштитних средстава:

- а) ЗМ М2 са КФ М2, б) ЗМ М2Ф са КФ М2, в) ЗМ М3 са КФ М3,
 г) ЕМ1, д) ЕМ2, е) ХМ1, ж) ХМ3.

Сви испитивани узорци су производи који су доступни за набавку у нашој земљи. Узорци прикључака за дисање (образина) заштитних маски и комбинованих филтара су производ „*Trayal*“ корпорације из Крушевца, Р. Србија, а филтрирајућих полумаски су производ фирме „9. септембар“ из Горњег Милановца, Р. Србија (модели обележени као ЕМ1, ЕМ2 и ХМ1), фирме „*Sänger*“ из Шрозберга, СР Немачка (модел обележен као ХМ2) и фирме „*Van Oostveen Medical B. V. - Romed*“ из Вилниса, Холандија (модел обележен као ХМ3).

У циљу поштовања принципа следљивости мерења и научне валидности добијених резултата, сва испитивања, од почетка до краја, су изведена уз поштовање свих прописаних процедура одговарајућих стандарда, које треба да испуни овакво експериментално испитивање.

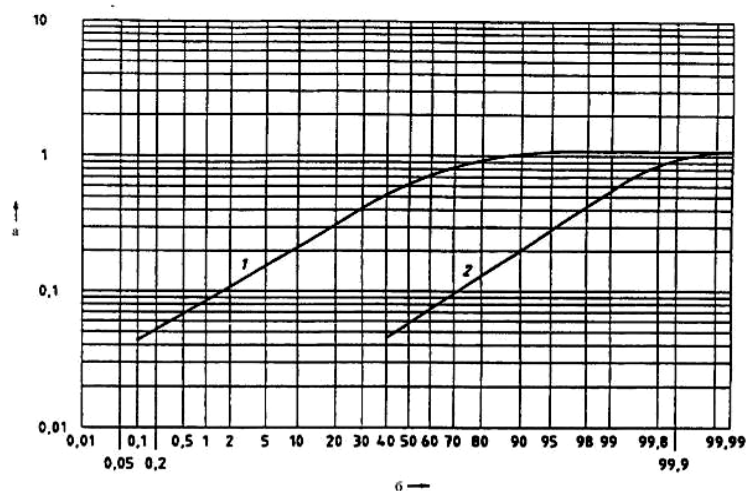
4.1. Испитивање ефикасности заштите средстава респираторне заштите

Одређивање ефикасности заштите средстава респираторне заштите филтрирајућег типа без погона представља сложен и обиман посао. Пошто ефикасност заштите ових средстава зависи првенствено од пропуштања према унутрашњости аеросола биолошких контаминаната и ефикасности њиховог филтрирања кроз филтрирајући медијум, у циљу безбедног спровођења испитивања наведених кључних параметара неопходно је наћи погодан, безопасан и адекватан симулатор контаминанта, јер је испитивање са реалним контаминантима у лабораторијским условима високо ризична активност.

У стандардима постоје дефинисане методе за експериментална испитивања средстава респираторне заштите на ефикасност заштите од честица и гасова [81-84]. У ту сврху, као испитни агенс се користе NaCl (натријум-хлорид), парафинска магла, сумпор-хексафлуорид (SF₆) и др. За ово истраживање је кључно било да се утврди да ли је могуће искористити неки од стандардима дефинисаних испитних агенаса за симулацију биолошких агенаса типа вируса и бактерија²⁴. У ту сврху је извршено упоређивање физичких својстава испитних агенаса и биолошких агенаса у форми аеросола (пошто биолошки агенси у аеросолном стању најефикасније утичу на људски организам путем њиховог удисања²⁵).

Димензије аеросола биолошких агенаса се налазе у распону од 0,015 до 0,3 μm (вируси), па чак и до 2 μm (бактеријске ћелије) [85].

Од свих горе наведених испитних агенаса, у експерименталним условима само NaCl је могуће распршити у облику честица чврстог аеросола чија гранулометријска расподела обухвата честице аеродинамичког пречника између 0,02 μm и 2 μm, а средњег пречника по маси 0,6 μm (Слика 24.) [83], што је најсличнијих димензија са аеросолима горе наведених биолошких агенаса.



Слика 24. Расподела величина честица аеросола NaCl: а - расподела по маси, б - расподела по броју, 1 - најдужа дијагонала честица NaCl (μm), 2 - проценат испод одређене величине

Сходно изложеном, по расподели величина генерисаних честица аеросол NaCl одговара аеросолима биолошких агенаса типа вируса и бактерија, па се дошло до закључка да је NaCl подобан као њихов симулатор.

²⁴ Циљне групе биолошких агенаса.

²⁵ Детаљно објашњено за све микроорганизме на примеру инфекције људског организма вирусом инфлуенце респираторним путем.

4.1.1. Испитивање пропуштања према унутрашњости заштитних маски и филтрирајућих полумаски

При испитивању заштитне маске испитује се пропуштање према унутрашњости средства које се дефинише као пропуштање атмосфере околине у прикључак за дисање²⁶ које потиче са свих других извора осим кроз филтре апарата. Мери се у лабораторији, у специфичној атмосфери и изражава у процентима укупне количине ваздуха при удисању [27].

При испитивању филтрирајуће полумаске испитује се укупно пропуштање према унутрашњости средства које се дефинише као пропуштање атмосфере околине у прикључак за дисање²⁷ које потиче са свих других извора, укључујући филтар или апарат. Мери се у лабораторији, у специфичној испитној атмосфери и изражава се у процентима укупне количине удахнутог ваздуха [27].

У испитивању су коришћени узорци прикључка за дисање (образине) три модела заштитне маске - ЗМ-М2, ЗМ-М2Ф, ЗМ-М3, и пет модела филтрирајуће полумаске - ЕМ1, ЕМ2, ХМ1, ХМ2, ХМ3.

За извођење испитивања образина заштитне маске и филтрирајуће полумаске мора да буде херметична тако да нема пропуштања кроз спојеве образине са њеним функционалним елементима, јер се пропуштањем према унутрашњости уз проверу ефикасности заштите заштитне маске и филтрирајуће полумаске, проверава и квалитет конструкције ових средстава (одн. квалитет спојева њихових саставних елемената).

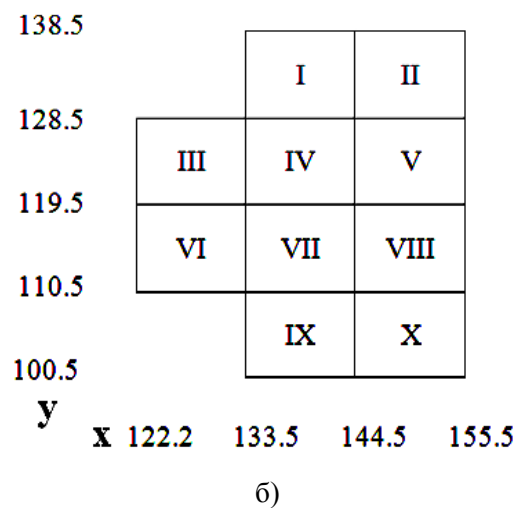
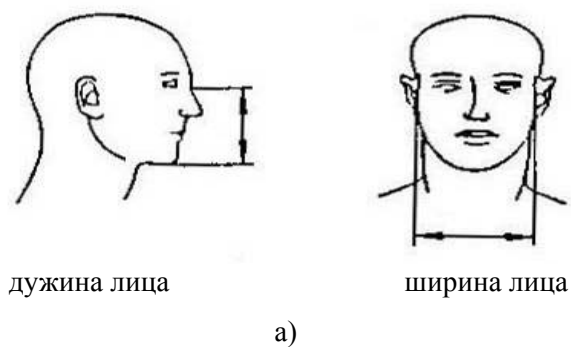
Поступак испитивања

За испитивање узорака образине заштитне маске коришћена је метода за испитивање аеросолом NaCl прописана у SRPS EN 136:2007 [81] и COPC 8746:2005 [86]. У испитивању узорака филтрирајућих полумаски коришћена је метода за испитивање аеросолом NaCl прописана у SRPS EN 149:2013 [84]. Радње током извођења испитивања, апаратура, ток испитивања и израчунавање пропуштања су исто прописане и стандардима за испитивање заштитних маски и стандардом за испитивање филтрирајућих полумаски.

Наведене методе су засноване на истом принципу - излагање аеросолу NaCl одређене концентрације испитаника који носи прикључак за дисање (образина са

²⁶ Код заштитних маски прикључак за дисање представља пуна маска без комбинованог филтра, односно образина са свим компонентама без комбинованог филтра.

²⁷ Код филтрирајућих полумаски прикључак за дисање представља сама полумаска која се у потпуности или углавном састоји од филтрирајућег материјала или је апарат у којем главни филтри чине неодвојиви део апарата.



Слика 26. Дефинисане типске карактеристике лица: а) димензије лица које се мере, б) критеријуми антропометријске матрице: X – ширина лица (mm), Y – дужина лица (mm).



Слика 27. Мерење димензија лица испитаника према матрици

Табела 1. Димензије лица изабраних испитаника

Матрични број испитаника	Дужина лица	Ширина лица	Величина прикључка за дисање
I	136	141	Велика (В)
II	138	145	Велика (В)
III	121	133	Средња (С)
IV	126	144	Средња (С)
V	125	154	Средња (С)
VI	118	129	Средња (С)
VII	119	138	Средња (С)
VIII	117	146	Средња (С)
IX	107	130	Мала (М)
X	110	141	Мала (М)

У складу са наведеним методама прописаним у стандардима:

- током испитивања је коришћено:

- по 10 узорака образине заштитне маске сваког модела (за сваки тип по 5 узорака у стању као што су примљени (нетретирани узорци), а по 5 узорака пошто су температурно кондиционирани (третирани узорци)),
- по 10 узорака филтрирајуће полумаске свих модела (за сваки тип по 5 узорака у стању као што су примљени (нетретирани узорци), а по 5 узорака пошто су температурно кондиционирани (третирани узорци)),

- помоћу распршивача типа *Collison* (произвођач компанија *BGI, USA*) од 2 % воденог раствора NaCl успешно је генерисан полидисперзан чврст аеросол концентрације $C_0 = 11 \text{ mg/m}^3$ са следећим карактеристикама: пречник честице $d_p = 0,02 - 2,0 \text{ }\mu\text{m}$, медијан честице по маси $MMD = 0,60 \text{ }\mu\text{m}$, медијан честице по броју $NMD = 0,03 \text{ }\mu\text{m}$, геометријска девијација $\sigma_g = 2,53$; геометријска расподела честица одређена је електричним анализатором честица *EAA-3030* (произвођач компанија *TSI, USA*) (Слика 28.),



Слика 28. Електрични анализатор честица *EAA-3030*

- испитивање је вршено при протоку аеросола од $100 \text{ dm}^3/\text{min}$, а концентрација тест аеросола је мерена испод образине и у испитној комори помоћу пламеног

фотометра *Type 1100* (произвођач *Moores (Wallisdown) LTD., UK*) (Слика 29.) по следећем:

- узорак концентрације тест аеросола C_m пропуштеног испод образине узиман је преко цева за узорковање које је прикључено на образину,
- узорак концентрације тест аеросола C_0 у испитној комори узиман је посебним системом за узимање узорка и одређиван истим фотометром.



Слика 29. Пламени фотометар Тип 1100

Пре почетка рада испитаницима су саопштене мере безбедности и услови рада у испитној комори, а уз то су испитаници прочитали и упутство произвођача које се односи на подешавање образине. За свако појединачно тестирање је извршена провера да ли су образине у добром стању функционисања и да ли њихово коришћење није опасно, те је испитивање почињало тек када испитаник стави образину на главу, учврсти је и на питање „Да ли маска належе?“ одговори са „Да.“

Ток испитивања је вршен како је прописано стандардима. Искључи се довод аеросола NaCl у испитну комору, па се испитаник са намештеним прикључком за дисање смести у испитну комору. Прикључи се сонда за узорковање, испитаник хода у интервалу времена од 2 min на покретној траци, која се креће брзином од 6 km/h. Одреди се концентрација аеросола испод образине у циљу утврђивања основног нивоа концентрације, а онда се врши мерење концентрације аеросола до добијања константне вредности. Укључи се довод аеросола NaCl у испитну комору и испитаник наставља да хода још 2 min до постизања равнотежене вредности концентрације аеросола.

Испитаник за време ходања обавља следеће активности (Слика 30.):

- а) хода без померања главе и причања у интервалу времена од 2 min,
- б) окреће главу са једне стране на другу (око 15 пута), тако да посматра зидове коморе, у интервалу времена од 2 min,
- в) помера главу горе-доле (око 15 пута), ка плафону и поду, у интервалу времена од 2 min,

- г) изговара повишеним гласом азбуку или одговарајући текст, као да разговара са колегом, у интервалу времена од 2 min,
 д) хода без померања главе и причања, у интервалу времена од 2 min.²⁸



а)



б)

Слика 30. Испитаник током испитивања у испитној комори:
 а) са заштитном маском, б) са филтрирајућом полумаском

Док испитаник изводи ове активности бележе се концентрација аеросола NaCl у испитној комори и унутрашње пропуштање одређено за време сваке радње. По завршетку последње радње, искључи се довод аеросола и тек када се испитна комора ослободи аеросола, испитаник напушта покретну траку и испитну комору. Потом се добијени резултати саопште испитанику.

Израчунавање пропуштања

Пропуштање P [%] се израчунава на основу измерених вредности током последњих 100 s сваког периода вежбања да би се избегло преношење резултата из једне радње у другу. Израчунава се према обрасцу:

$$P = \frac{C_m}{C_o} \times \left[\frac{t_{in} + t_{ex}}{t_{in}} \right] \times 100 \quad (15)$$

где је :

C_m - концентрација аеросола натријум-хлорида пропуштеног испод образине, одређена у фази удисања респираторног циклуса [mg/m^3],

C_o - средња вредност концентрације аеросола натријум-хлорида измерена у испитној комори [mg/m^3],

t_{in} - укупно трајање удисања [s],

t_{ex} - укупно трајање издисања [s].

²⁸ Ходањем на покретној траци и извршавањем прописаних радњи постиже се симулација различитог интензитета рада испитаника, које одговара вршењу наменских задатака у стварним условима.

4.1.2. Испитивање пропуштања кроз филтрирајући медијум

Испитивање пропуштања кроз филтрирајући медијум било ког средства респираторне заштите спроводи се ради стицања оцене функционисања филтарске преграде у смислу издвајања честица контаминанта из гасне струје, односно утврђивања ефикасности филтрирања датог филтрирајућег медијума, као и ради утврђивања динамике филтрирања аеросола филтрирајућим медијумима.

У испитивању су коришћени узорци комбинованог филтра три модела заштитне маске - КФ М2, КФ М2Ф, КФ М3, и узорци пет модела филтрирајуће полумаске - ЕМ1, ЕМ2, ХМ1, ХМ2, ХМ3.

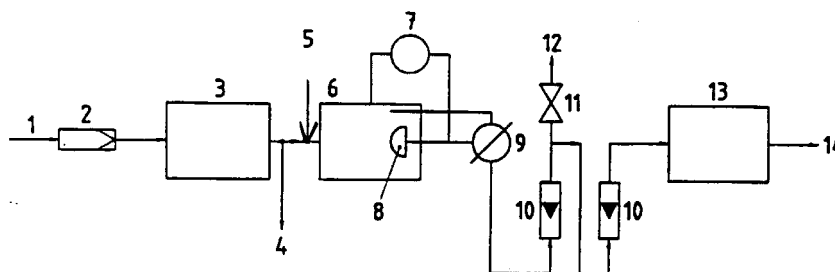
Ефикасност и динамика филтрирања аеросола филтрирајућим медијумима су испитивани у лабораторији, у специфичној испитној атмосфери, тако да испитни аеросол пролази кроз филтрирајући медијум при одређеном протоку.

Испитивање ефикасности филтрирања филтрирајућих медијума

Поступак испитивања

За испитивање узорка комбинованих филтара коришћена је метода за испитивање аеросолом NaCl прописана у SRPS EN 14387:2013 [82] и COPC 8748:2004 [87], а приказана у SRPS EN 143:2007 [83]. У испитивању узорка филтрирајућих полумаски коришћена је метода за испитивање аеросолом NaCl прописана у SRPS EN 149:2013 [84], а приказана у SRPS EN 143:2007 [83].

Наведена метода је заснована на принципу пропуштања аеросола NaCl кроз филтрирајући медијум при чему се врши мерење концентрације овог аеросола пре и после испитног узорка методом пламене фотометрије. Прецизна одређивања су могућа у области продирања од 0,0001 % до 100 %. На Слици 31. је шематски приказана апаратура која се примењује при овим испитивањима.



Слика 31. – Апаратура за испитивање ефикасности филтрирања филтрирајућег материјала аеросолом NaCl: 1 - компримовани ваздух, 2 - филтар за ваздух, 3 - генератор аеросола, 4 - вентил за продување, 5 - чист ваздух, 6 - испитна комора, 7 – манометар, 8 – узорак, 9 - трокрака славина, 10 - мерач протока, 11 - вентил за контролу протока, 12 – излаз, 13 - пламени фотометар, 14 – излаз.

У складу са наведеном методом:

- током испитивања је коришћено:

- по 3 узорка комбинованих филтара свих модела (сваки узорак је припремљен за испитивање тако што је излаган испитивању механичке отпорности и температурног кондиционирања),
- по 9 узорака филтрирајуће полумаске свих модела (за сваки модел вршена је припрема узорака по следећем: 3 у примљеном стању, 3 после поступка симулираног ношења и 3 после испитивања механичке отпорности и температурног кондиционирања),

- помоћу распршивача типа *Collison* (произвођач компанија *BGI, USA*) од 1 % воденог раствора NaCl успешно је генерисан полидисперзан чврст аеросол концентрације $C_0 = 8 \text{ mg/m}^3$ са следећим карактеристикама: пречник честице $d_p = 0,02 - 2,0 \text{ }\mu\text{m}$, медијан честице по маси $MMD = 0,60 \text{ }\mu\text{m}$, медијан честице по броју $NMD = 0,03 \text{ }\mu\text{m}$, геометријска девијација $\sigma_g = 2,53$; геометријска расподела честица одређена је електричним анализатором честица *EAA-3030* (произвођач компанија *TSI, USA*),

- испитивање је вршено у испитној комори (Слика 32.), при протоку испитног аеросола од $95 \text{ dm}^3/\text{min}$, а концентрација испитног аеросола је мерена пре и после тестираног филтра помоћу пламеног фотометра *Type 1100* (произвођач *Moores (Wallisdown) LTD., UK*).



Слика 32. Испитна комора за испитивање ефикасности и динамике филтрирања филтрирајућим медијумима

Ток испитивања је вршен тако што се на диспозитив за филтрирајући медијум херметички прикључи заштитно средство (комбиновани филтар, филтрирајућа полумаска), потом прикључи сонда за узорковање пропуштеног аеросола, па се укључи довод испитног аеросола у испитну комору. Помоћу мерача протока се подеси проток испитног аеросола на $95 \text{ dm}^3/\text{min}$, тако да испитни аеросол континуално струји кроз

заштитно средство. Концентрација аеросола мери се испред и иза испитног узорка помоћу пламеног фотометра. Пропуштање се мери после 3 min од почетка испитивања као просечни одзив инструмента у интервалу од 30 ± 3 s, па се бележи очитани податак.

Израчунавање пропуштања

Пропуштање честица кроз филтрирајући медијум P [%] израчунава се по обрасцу:

$$P = \frac{C_2}{C_1} \times 100 \quad (16)$$

где је:

C_1 – концентрација аеросола NaCl испред испитног узорка [mg/m^3],

C_2 – концентрација аеросола NaCl иза испитног узорка [mg/m^3].

Испитивање динамике филтрирања аеросола филтрирајућим медијумима

Поступак испитивања

Испитивање динамике филтрирања аеросола комбинованим филтрима и филтрирајућим полумаскама вршено је кроз:

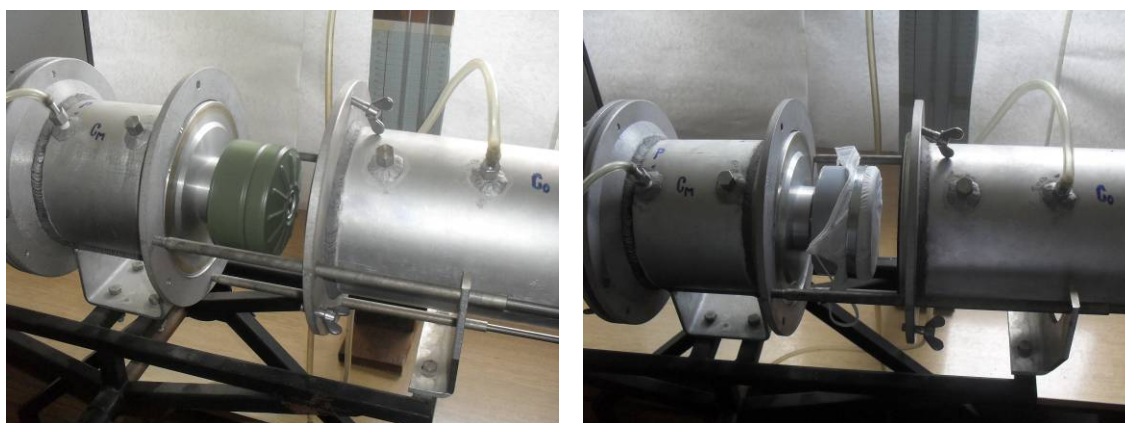
- испитивање утицаја протока испитног аеросола кроз средство на његову ефикасност филтрирања и
- испитивање ефикасности филтрирања ових средстава у зависности од времена излагања средства аеросолу при различитим испитним протоцима, при чему се истовремено врши и мерење отпора средства протоку испитног аеросола.

За наведена испитивања динамике филтрирања коришћена је иста метода за испитивање аеросолом NaCl као и у испитивању ефикасности филтрирања, прописана у SRPS EN 14387:2013 [82], SRPS EN 149:2013 [84] и COPC 8748:2004 [87], а приказана у SRPS EN 143:2007 [83].

За испитивање утицаја протока испитног аеросола кроз средство на његову ефикасност филтрирања коришћен је исти поступак испитивања, са истим бројем узорка и истом апаратуром, као и при испитивању ефикасности филтрирања, са разликом што је при овом испитивању проток испитног аеросола био $30 \text{ dm}^3/\text{min}$.

За испитивање ефикасности филтрирања ових средстава у зависности од времена излагања средства аеросолу је коришћен по 1 узорак комбинованих филтра и филтрирајућих полумаски свих модела (у примљеном стању), а испитивање је вршено у испитној комори при протоку испитног аеросола од $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ и $95 \text{ dm}^3/\text{min}$ коришћењем исте апаратуре као у испитивању ефикасности филтрирања филтрирајућих медијума.

Испитивање је вршено тако што се на диспозитив за филтрирајући медијум херметички прикључи заштитно средство (комбиновани филтар, филтрирајућа полумаска), потом прикључи сонда за узорковање пропуштеног аеросола, па се укључи довод испитног аеросола у испитну комору (Слика 33.). Помоћу мерача протока се подеси жељени проток испитног аеросола, 30 или 95 dm³/min, тако да испитни аеросол континуално струји кроз заштитно средство. Концентрација аеросола мери се испред и иза испитног узорка помоћу пламеног фотометра. Пропуштање се мери током 30 min на сваких 5 min од почетка испитивања као просечни одзив инструмента у интервалу времена од 30±3 s, па се бележи очитани податак. При том се истовремено манометром врши и мерење отпора филтрирајућег медијума протоку аеросола и бележи се податак. Манометар је једним изводом спојен са простором испод средства у диспозитиву филтрирајућег медијума, а другим отворен према атмосфери.



а)

б)

Слика 33. Испитна комора са испитним узорком у њој:
а) са узорком КФ, б) са узорком филтрирајуће полумаске.

Потом је извршено снимање СЕМ техником узорака филтрирајућих материјала испитиваних филтрирајућих медијума. Карактеризација је урађена помоћу скенирајућег електронског микроскопа *JSM-5800* модел (произвођач компанија *JEOL*, Јапан).

При испитивању динамике филтрирања аеросола комбинованим филтрима и филтрирајућим полумаскама пропуштање честица кроз филтрирајући медијум (P) израчунавано је по истом обрасцу као и при испитивању ефикасности филтрирања филтрирајућих медијума.

4.2. Испитивање физиолошке подобности средстава респираторне заштите

При употреби средстава респираторне заштите филтрирајућег типа без погона радна способност корисника одређена је напрезањем његовог респираторног система да обезбеди организам кисеоником, уз сва оптерећења настала разним физичким напрезањима, између осталог и услед отпора којег при дисању пружају сама средства. Под отпором при дисању подразумева се отпор који средство за заштиту органа за дисање пружа протоку ваздуха при дисању [27].

Пошто њихова употреба директно утиче на промену услова рада плућа, односно на физиолошко стање организма, средства респираторне заштите морају да испуњавају и функционалне услове у циљу физиолошке подобности за употребу. Ово се изражава преко захтева за отпор заштитног средства при удисању.

При испитивању отпора заштитних маски при удисању засебно се испитује комбиновани филтар, јер при отпору целокупног средства струји ваздуха у фази удисања, много већи део припада отпору комбинованог филтра у односу на отпор образине.

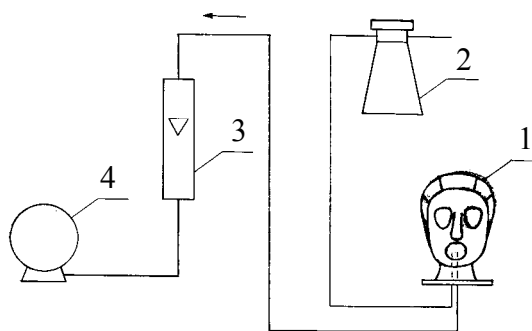
У циљу укупног сагледавања физиолошког утицаја заштитног средства на организам, испитивањем је одређиван отпор при удисању филтрирајуће полумаске и целокупног модела заштитних маски (образина + комбиновани филтар), као и отпор комбинованог филтра (засебно).

4.2.1. Испитивање отпора средстава респираторне заштите при удисању

За испитивање су коришћени узорци три модела заштитне маске (образина + комбиновани филтар) - ЗМ-М2, ЗМ-М2Ф, ЗМ-М3, и пет модела филтрирајуће полумаске - ЕМ1, ЕМ2, ХМ1, ХМ2, ХМ3. Испитивање је вршено у лабораторији у складу са прописаном процедуром, а резултати добијени као разлика притисака ваздуха пре и после фазе удисања.

Поступак испитивања

За испитивање узорака наведених средстава коришћена је метода за испитивање отпора при удисању прописана у СОРС 8746:2005 [86], SRPS EN 136:2007 [81] и SRPS EN 149:2013 [84]. Наведена метода је заснована на принципу излагања заштитног средства континуалној струји ваздуха у смеру удисања и мерењу разлике притиска испод прикључка за дисање заштитног средства и атмосферског притиска. На Слици 34. је шематски приказана апаратура која се примењује при овим испитивањима.



Слика 34. Апаратура за испитивање отпора заштитног средства при удисању:

1 – испитна глава, 2 – мерач отпора, 3 – мерач протока, 4 – вакуум пумпа

У складу са наведеном методом, током испитивања су коришћени:

- по 3 узорка комплетне заштитне маске сваког модела (узорци у стању као што су примљени),
- по 9 узорка филтрирајуће полумаске свих модела (за сваки тип по 3 узорка у стању као што су примљени, по 3 узорка пошто су температурно кондиционирани и по 3 после испитивања за симулирано ношење),
- Шефилд испитна глава по антропометријским мерама прикључака за дисање - М (мала), С (средња), В (велика),
- мерач отпора опсега од 0 до 1500 Pa, тачности ± 5 Pa,
- мерач протока опсега од 0 до 180 dm³/min, тачности ± 1 dm³/min,
- вакуум пумпа, која обезбеђује проток до 180 dm³/min.

Ток испитивања је вршен тако што се на модел испитне главе сигурно и херметички причврсти заштитно средство (филтрирајућа полумаска, заштитна маска) одговарајуће величине (мала, средња, велика) (Слика 35.). Укључи се вакуум пумпа и помоћу мерача протока подеси жељени проток ваздуха, 30 dm³/min или 95 dm³/min (на 23 °C и при апсолутном притиску од 1 bar), тако да ваздух континуално струји кроз заштитно средство у простор између средства и испитне главе. Мерења отпора се врши манометром, чији је један извод спојен са простором испод средства у нивоу отвора за уста на моделу главе, а други отворен према атмосфери. Након постизања константне вредности отпора, на манометру се читава отпор средства за примењени проток ваздуха и бележи очитани податак.



а)

б)

Слика 35. Шефилд испитна глава са причвршћеним заштитним средством
а) са образином заштитне маске, б) са филтрирајућом полумаском.

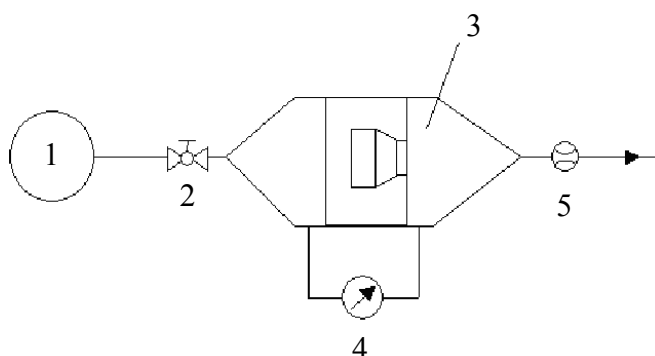
4.2.2. Испитивање отпора комбинованог филтра при удисању

У испитивању су коришћени узорци комбинованих филтара заштитне маске - КФ М2, КФ М2Ф и КФ М3. У складу са прописаном процедуром, испитивање је вршено у лабораторији, а резултати добијени као разлика притисака испред и иза филтра, када се одређени проток ваздуха пропушта кроз филтар.

Поступак испитивања

За испитивање узорака комбинованих филтара коришћена је метода за испитивање отпора при дисању прописана у СОРС 8748:2004 [86], SRPS EN 14387:2013 [82] и SRPS EN 143:2007 [83].

Наведена метода је заснована на принципу пропуштања ваздуха одређеног протока кроз комбиновани филтар, хоризонтално у смеру удисања, и мерењу разлике притиска испред и иза филтра. На Слици 36. је шематски приказана апаратура која се примењује при овим испитивањима.



Слика 36. Шематски приказ апаратуре за испитивање отпора КФ при удисању

Легенда: 1 – извор компримованог ваздуха, 2 – регулациони вентил, 3 – диспозитив за филтар,
4 – мерач отпора, 5 – мерач протока

У складу са наведеном методом, током испитивања су коришћени:

- по 4 узорка КФ М2, КФ М2Ф и КФ М3 (за сваки тип по 2 узорка пошто су излагани испитивању механичке отпорности и по 2 узорка пошто су излагани испитивању механичке отпорности и температурно кондиционирани),
- извор компримованог ваздуха минималног радног притиска 4 bar или вакуум пумпе, која обезбеђује проток до $180 \text{ dm}^3/\text{min}$,
- уређај за регулацију притиска или протока (регулациони вентил),
- диспозитив за филтар са одговарајућим адаптером за херметично прикључивање филтра на апаратуру,
- мерач отпора опсега од 0 до 1500 Pa, тачности $\pm 5 \text{ Pa}$,
- мерач протока опсега од 0 до $180 \text{ dm}^3/\text{min}$, тачности $\pm 0,5 \text{ dm}^3/\text{min}$.

Ток испитивања је вршен тако што се укључи вакуум пумпа и помоћу регулационог вентила поставља проток ваздуха на одређену вредност од $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ или $95 \text{ dm}^3/\text{min}$ (на $23 \text{ }^\circ\text{C}$ и при апсолутном притиску од 1 bar). Када постављени проток ваздуха постане константан, на диференцијалном манометру се очита вредност разлике притисака која представља вредност отпора протоку ваздуха који ствара адаптер. Испитни филтар се прикључи на апаратуру помоћу навојног прикључка у диспозитиву за филтар (Слика 37). Понови се претходни поступак и на диференцијалном манометру се очита разлика притисака која представља вредност отпора протоку ваздуха који стварају адаптер и испитни филтар. Добијена вредност отпора се коригује за вредност отпора протоку ваздуха који ствара адаптер и потом се бележи податак.



Слика 37. КФ прикључен на апаратуру за испитивање отпора КФ при удисању

РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

5. Резултати експерименталних испитивања

Сви резултати добијени експерименталним испитивањима су груписани по серијама сходно извршеним испитивањима. Основни статистички параметри серија резултата су добијени њиховом обрадом помоћу статистичког програмског пакета *IBM SPSS Statistics Data Editor*, верзија 20. Статистичка значајност при обради резултата је дефинисана на нивоу вероватноће од 0,05.

5.1. Резултати испитивања ефикасности заштите средстава респираторне заштите

Резултати испитивања ефикасности заштите средстава респираторне заштите су обухватили резултате испитивања пропуштања према унутрашњости образа и испитивање пропуштања кроз филтрирајући медијум заштитних маски и филтрирајућих полумаски.

5.1.1. Резултати испитивања пропуштања према унутрашњости

Вредности пропуштања према унутрашњости (P) образа заштитних маски и филтрирајућих полумаски, добијене експерименталним испитивањима сваког модела наведених средстава и груписане по серијама сходно антропометријској матрици, дате су у Табели 2. Основни статистички параметри наведених серија су дати у Табели 3.

Табела 2. Вредности пропуштања према унутрашњости образа заштитних маски и филтрирајућих полумаски

Матрични број испитаника	P (%)							
	ЗМ М2*	ЗМ М2Ф*	ЗМ М3*	ЕМ1	ЕМ2	ХМ1	ХМ2	ХМ3
I	0,0004	0,0005	0,0006	1,1111	0,2194	0,0563	0,4634	0,5947
II	0,0004	0,0004	0,0005	1,1103	0,2381	0,0581	0,4371	0,5543
III	0,0004	0,0004	0,0006	1,1292	0,2813	0,0491	0,3312	0,4818
IV	0,0004	0,0003	0,0006	1,1239	0,2642	0,0422	0,3254	0,4972
V	0,0005	0,0004	0,0006	1,1178	0,2983	0,0488	0,3483	0,5173
VI	0,0005	0,0004	0,0008	1,1264	0,3729	0,0533	0,2967	0,4155
VII	0,0005	0,0004	0,0008	1,1235	0,2717	0,0436	0,3634	0,4633
VIII	0,0005	0,0004	0,0007	1,1150	0,2527	0,0413	0,3722	0,5279
IX	0,0005	0,0003	0,0008	1,1203	0,2556	0,0424	0,3172	0,5116
X	0,0005	0,0004	0,0008	1,1127	0,3544	0,0516	0,2888	0,4083

* тестирана је само образа ЗМ са свим компонентама без комбинованог филтра

Табела 3. Статистички параметри серија резултата наведених у Табели 2.

Ознака испитног модела	N	\bar{X} ¹	SD ²⁹	Стандардна грешка	95 % интервал поверења		Најмања вредност	Највећа вредност
					Доња граница	Горња граница		
ЗМ М2*	10	0,00046	0,00005	0,0000163	0,000423	0,000497	0,0004	0,0005
ЗМ М2Ф*	10	0,00039	0,00006	0,0000180	0,000349	0,000431	0,0003	0,0005
ЗМ М3*	10	0,00068	0,00011	0,0000359	0,000599	0,000761	0,0005	0,0008
ЕМ1	10	1,11902	0,00667	0,0021081	1,114251	1,123789	1,1103	1,1292
ЕМ2	10	0,28086	0,04897	0,0154855	0,245829	0,315891	0,2194	0,3729
ХМ1	10	0,04867	0,00613	0,0019395	0,044282	0,053058	0,0413	0,0581
ХМ2	10	0,35437	0,05730	0,0181203	0,313379	0,395361	0,2888	0,4634
ХМ3	10	0,49719	0,05801	0,0183439	0,455693	0,538687	0,4083	0,5947

Према критеријуму за пропуштање према унутрашњости дефинисаном у стандарду SRPS EN 136:2007 [81] предвиђено је да пропуштање испитног агенса према унутрашњости обрзине заштитне маске не сме да прелази вредност од 0,05 % удахнутог ваздуха у случају сваког од 10 испитаника током целокупног испитивања. Као што се види из Табела 2. и 3., код свих испитних узорака обрзина вредности пропуштања су знатно мање у односу на стандардом дефинисану и то у просеку преко 100 пута за обрзине ЗМ М2 и ЗМ М2Ф и преко 70 пута за обрзину ЗМ М3 (изражено односом вредности критеријума и средње вредности пропуштања за матрицу испитаника). Према томе сви узорци испуњавају задати критеријум.

Према критеријуму за пропуштање према унутрашњости дефинисаном у стандарду SRPS EN 149:2013 [84], предвиђено је да код најмање 8 од 10 појединачних корисника (испитаника) вредности испитивања пропуштања код филтрирајућих полумаски не смеју да прелазе вредност од 22 % за FFP1 класу, 8 % за FFP2 класу и 2 % за FFP3 класу ове врсте заштитног средства³⁰. Као што се види из Табела 2. и 3., код свих испитних узорака свих модела филтрирајуће полумаске вредности пропуштања су знатно мање у односу на стандардом дефинисану вредност од 2 %, у просеку приближно 2 пута за ЕМ1, 7 пута за ЕМ2, 40 пута за ХМ1, 5 пута за ХМ2 и 4 пута за ХМ3 (изражено односом вредности критеријума и добијене средње вредности пропуштања за матрицу испитаника). Сходно томе узорци свих модела филтрирајућих полумаски припадају FFP3 класи.

²⁹ \bar{X} - аритметичка средина као мера централне тенденције резултата добијених експерименталним испитивањима; SD – стандардна девијација као мера њиховог варијабилитета.

³⁰ Класификација филтрирајућих полумаски за заштиту од честица је дефинисана стандардом SRPS EN 149:2013 [84] у складу са ефикасношћу филтрирања и највећем пропуштању према унутрашњости.

5.1.2. Резултати испитивања пропуштања кроз филтрирајући медијум

Резултати испитивања пропуштања кроз филтрирајући медијум су обухватили резултате испитивања ефикасности филтрирања филтрирајућих медијума и испитивање динамике филтрирања аеросола филтрирајућим медијумима.

Испитивање ефикасности филтрирања филтрирајућих медијума

Вредности пропуштања (P) кроз комбиноване филтре и филтрирајуће полумаске, добијене експерименталним испитивањима сваког модела наведених средстава при протоку испитног аеросола од $95 \text{ dm}^3/\text{min}$, груписане су по серијама сходно испитној процедури и приказане у Табели 4. Основни статистички параметри серија наведених у Табели 4. су дати у Табели 5.

Табела 4. Вредности пропуштања кроз комбиноване филтре и филтрирајуће полумаске при протоку испитног аеросола од $95 \text{ dm}^3/\text{min}$

N	P (%)							
	КФ М2	КФ М2Ф	КФ М3	ЕМ1	ЕМ2	ХМ1	ХМ2	ХМ3
1	0,0032	0,0019	0,0023	0,8621	0,9153	0,0664	0,0544	1,1981
2	0,0035	0,0021	0,0025	0,8475	0,9068	0,0713	0,0623	1,2063
3	0,0037	0,0015	0,0029	0,8696	0,9229	0,0615	0,0612	1,2512
4				0,8619	0,9036	0,0592	0,0601	1,2338
5				0,8577	0,9243	0,0608	0,0645	1,2347
6				0,8403	0,9258	0,0729	0,0567	1,1993
7				0,8687	0,9283	0,0542	0,0681	1,1960
8				0,8465	0,9019	0,0633	0,0655	1,2012
9				0,8581	0,9198	0,0747	0,0619	1,2048

Табела 5. Статистички параметри серија резултата наведених у Табели 4.

Ознака испитног модела	N	\bar{X}	SD	Стандардна грешка	95 % интервал поверења		Најмања вредност	Највећа вредност
					Доња граница	Горња граница		
КФ М2	3	0,00347	0,00026	0,0001453	0,002842	0,004092	0,0032	0,0037
КФ М2Ф	3	0,00183	0,00031	0,0001764	0,001074	0,002592	0,0015	0,0021
КФ М3	3	0,00257	0,00031	0,0001764	0,001808	0,003326	0,0023	0,0029
ЕМ1	9	0,85693	0,01017	0,0033885	0,849119	0,864747	0,8403	0,8696
ЕМ2	9	0,91652	0,01008	0,0033614	0,908771	0,924274	0,9019	0,9283
ХМ1	9	0,06492	0,00690	0,0023008	0,059616	0,070228	0,0542	0,0747
ХМ2	9	0,06163	0,00425	0,0014176	0,058364	0,064902	0,0544	0,0681
ХМ3	9	1,21393	0,02033	0,0067752	1,198310	1,229557	1,1960	1,2512

Стандардом SRPS EN 14387:2013 [82] је дефинисано да при испитивању пропуштања кроз филтар, комбиновани филтри морају задовољити захтеве за највеће

пропуштање испитног аеросола као што је утврђено у стандарду EN 143 за сваку класу филтара за честице. Према критеријуму за пропуштање кроз филтар дефинисаном у стандарду SRPS EN 143:2007 [83] предвиђено је да за испитивање пропуштања кроз филтар са испитним агенсом NaCl при протоку од $95 \text{ dm}^3/\text{min}$ вредност испитивања сваког испитиваног филтра не сме да прелази вредност од 20 % за P1 класу, 6 % за P2 класу и 0,05 % за P3 класу ове врсте заштитног средства³¹. Као што се види из Табеле 4. и Табеле 5., код свих испитних узоракa комбинованих филтара вредности пропуштања су знатно мање у односу на стандардом дефинисану вредност од 0,05 %, у просеку преко 30 пута за КФ М2, преко 80 пута за КФ М2Ф и преко 110 пута за КФ М3 (изражено односом вредности критеријума и добијене средње вредности серије резултата пропуштања). Сходно томе сви узорци свих модела комбинованих филтара припадају P3 класи.

Према критеријуму за пропуштање кроз филтрирајући материјал дефинисаном у стандарду SRPS EN 149:2013 [84] предвиђено је да за испитивање пропуштања са испитним агенсом NaCl при протоку од $95 \text{ dm}^3/\text{min}$ вредност испитивања сваког узорка филтрирајуће полумаске не сме да прелази вредност од 20 % за FFP1 класу, 6 % за FFP2 класу и 1 % за FFP3 класу ове врсте заштитног средства³². У Табели 4. и Табели 5. се види да су у односу на стандардом дефинисану вредност од 1 %, вредности пропуштања кроз филтрирајући материјал код испитних узоракa:

- модела EM1 и EM2 незнатно мање,
- модела XM1 и XM2 знатно мање (у просеку приближно 15 пута),
- модела XM3 незнатно веће.

Сходно томе узорци филтрирајућих полумаски модела EM1, EM2, XM1 и XM2 припадају FFP3 класи, а узорци модела XM3 FFP2 класи.

Испитивање динамике филтрирања аеросола филтрирајућим медијумима

Вредности пропуштања (P) кроз комбиноване филтре и филтрирајуће полумаске, добијене експерименталним испитивањима сваког модела наведених средстава при протоку испитног аеросола од $30 \text{ dm}^3/\text{min}$, груписане су по серијама сходно испитној процедури и приказане у Табели 6. Основни статистички параметри серија наведених у Табели 6. су дати у Табели 7.

³¹ Стандардом SRPS EN 14387:2013 [82] је дефинисано да класификација комбинованог филтра обухвата класификацију филтара за честице у складу са стандардом EN 143, где је класификација филтара за честице дефинисана у складу са ефикасношћу филтрирања.

³² Класификација филтрирајућих полумаски за заштиту од честица је дефинисана стандардом SRPS EN 149:2013 [84] у складу са ефикасношћу филтрирања и највећем пропуштању према унутрашњости.

Табела 6. Вредности пропуштања кроз комбиноване филтре и филтрирајуће полумаске при протоку испитног аеросола од 30 dm³/min

N	P (%)							
	КФ М2	КФ М2Ф	КФ М3	ЕМ1	ЕМ2	ХМ1	ХМ2	ХМ3
1	0,0019	0,0006	0,0004	1,1751	1,2213	0,1592	0,1274	1,3445
2	0,0016	0,0007	0,0003	1,1893	1,2251	0,1644	0,1382	1,3507
3	0,0012	0,0004	0,0006	1,1687	1,2062	0,1801	0,1395	1,3538
4				1,1514	1,2238	0,1613	0,1351	1,3686
5				1,1938	1,2037	0,1808	0,1227	1,3479
6				1,1482	1,2053	0,1790	0,1189	1,3697
7				1,1656	1,2214	0,1571	0,1183	1,3463
8				1,1444	1,2008	0,1783	0,1194	1,3677
9				1,1913	1,2254	0,1543	0,1207	1,3504

Табела 7. Статистички параметри серија резултата наведених у Табели 6.

Ознака испитног модела	N	\bar{X}	SD	Стандардна грешка	95 % интервал поверења		Најмања вредност	Највећа вредност
					Доња граница	Горња граница		
КФ М2	3	0,00157	0,00035	0,0002028	0,000694	0,002439	0,0012	0,0019
КФ М2Ф	3	0,00057	0,00015	0,0000882	0,000187	0,000946	0,0004	0,0007
КФ М3	3	0,00043	0,00015	0,0000882	0,000054	0,000813	0,0003	0,0006
ЕМ1	9	1,16976	0,01909	0,0063636	1,155081	1,184430	1,1444	1,1938
ЕМ2	9	1,21478	0,01042	0,0034735	1,206768	1,222788	1,2008	1,2254
ХМ1	9	0,16828	0,01106	0,0036864	0,159777	0,176779	0,1543	0,1808
ХМ2	9	0,12669	0,00869	0,0028959	0,120011	0,133367	0,1183	0,1395
ХМ3	9	1,35551	0,01023	0,0034104	1,347647	1,363376	1,3445	1,3697

Вредности пропуштања (P) кроз комбиноване филтре и филтрирајуће полумаске и отпора протоку аеросола (p) који стварају, зависно од времена излагања испитном аеросолу, добијене експерименталним испитивањима сваког модела наведених средстава при протоцима испитног аеросола од 30 dm³/min и 95 dm³/min, груписане су по серијама сходно испитној процедури и приказане у Табелама 8.-11.

Табела 8. Вредности пропуштања узорака комбинованих филтара и филтрирајућих полумаски у зависности од времена, при протоку испитног аеросола од 30 dm³/min

Време (min)	<i>P</i> (%)							
	КФ М2	КФ М2Ф	КФ М3	ЕМ1	ЕМ2	ХМ1	ХМ2	ХМ3
0	0,0017	0,0006	0,0005	1,1773	1,2192	0,1783	0,1331	1,3636
5	0,0017	0,0006	0,0005	1,1511	1,1905	0,1691	0,1278	1,3224
10	0,0017	0,0006	0,0005	1,1163	1,1245	0,1533	0,1189	1,2678
15	0,0014	0,0005	0,0004	1,0837	1,0985	0,1376	0,1027	1,2014
20	0,0014	0,0005	0,0004	1,0722	1,0753	0,1271	0,0958	1,1811
25	0,0012	0,0004	0,0004	1,0598	1,0526	0,1041	0,0836	1,1587
30	0,0010	0,0004	0,0004	1,0378	1,0202	0,0897	0,0703	1,1142

Табела 9. Вредности отпора узорака комбинованих филтара и филтрирајућих полумаски протоку испитног аеросола од 30 dm³/min у зависности од времена

Време (min)	<i>P</i> (%)							
	КФ М2	КФ М2Ф	КФ М3	ЕМ1	ЕМ2	ХМ1	ХМ2	ХМ3
0	130	140	115	50	55	75	80	15
5	130	140	115	60	55	75	80	15
10	130	140	115	75	60	85	90	20
15	140	145	120	85	60	120	130	20
20	140	145	120	90	65	140	140	35
25	150	150	125	100	70	160	170	40
30	150	160	135	110	80	190	210	60

Табела 10. Вредности пропуштања узорака комбинованих филтара и филтрирајућих полумаски у зависности од времена, при протоку испитног аеросола од 95 dm³/min

Време (min)	<i>P</i> (%)							
	КФ М2	КФ М2Ф	КФ М3	ЕМ1	ЕМ2	ХМ1	ХМ2	ХМ3
0	0,0034	0,0021	0,0029	0,8557	0,9198	0,0686	0,0612	1,2347
5	0,0028	0,0018	0,0021	0,8469	0,9090	0,0630	0,0563	1,1811
10	0,0021	0,0017	0,0019	0,8278	0,8852	0,0552	0,0487	1,1587
15	0,0019	0,0014	0,0018	0,8093	0,8697	0,0463	0,0429	1,1142
20	0,0017	0,0012	0,0016	0,7205	0,7345	0,0434	0,0395	1,0965
25	0,0014	0,0008	0,0012	0,7048	0,6450	0,0400	0,0382	1,0777
30	0,0014	0,0006	0,0008	0,6883	0,7094	0,0385	0,0371	1,0398

Табела 11. Вредности отпора узорака комбинованих филтара и филтрирајућих полумаски протоку испитног аеросола од 95 dm³/min у зависности од времена

Време (min)	<i>P</i> (%)							
	КФ М2	КФ М2Ф	КФ М3	ЕМ1	ЕМ2	ХМ1	ХМ2	ХМ3
0	395	370	270	140	130	260	270	140
5	400	380	275	140	130	300	310	150
10	410	390	285	150	140	340	360	160
15	425	410	305	150	140	370	380	180
20	450	420	330	160	150	390	400	200
25	470	450	360	170	150	400	410	250
30	490	470	410	180	170	410	420	330

5.2. Резултати физиолошке подобности средстава респираторне заштите

Резултати испитивања физиолошке подобности средстава респираторне заштите су обухватили резултате испитивања отпора средстава респираторне заштите при удисању и испитивања отпора комбинованог филтра при удисању.

5.2.1. Резултати испитивања отпора средстава респираторне заштите

Вредности отпора при удисању (*p*) филтрирајућих полумаски и целокупног модела заштитних маски (образина + комбиновани филтар), добијене експерименталним испитивањима сваког модела наведених средстава при протоку ваздуха од 30 dm³/min и 95 dm³/min, груписане су по серијама сходно испитној процедури и приказане у Табели 12. и Табели 13. Основни статистички параметри серија наведених у Табели 12. и Табели 14. су дати у Табели 13. и Табели 15.

Табела 12. Вредности отпора при удисању филтрирајућих полумаски и целокупног модела заштитних маски при протоку ваздуха од 30 dm³/min

N	<i>p</i> (Pa)							
	ЗМ М2	ЗМ М2Ф	ЗМ М3	ЕМ1	ЕМ2	ХМ1	ХМ2	ХМ3
1	100	125	110	50	55	75	75	10
2	115	120	120	50	60	80	80	15
3	110	130	115	55	60	75	85	10
4				55	60	75	70	15
5				50	55	70	80	15
6				55	55	75	75	15
7				50	60	85	80	15
8				50	60	80	70	15
9				50	55	75	80	10

Табела 13. Статистички параметри серија резултата наведених у Табели 12.

Ознака испитног модела	N	\bar{X}	SD	Стандардна грешка	95 % интервал поверења		Најмања вредност	Највећа вредност
					Доња граница	Горња граница		
ЗМ М2	3	108,33	7,64	4,410	89,36	127,31	100	115
ЗМ М2Ф	3	125,00	5,00	2,887	112,58	137,42	120	130
ЗМ М3	3	115,00	5,00	2,887	102,58	127,42	110	120
ЕМ1	9	51,67	2,50	0,833	49,74	53,59	50	55
ЕМ2	9	57,78	2,64	0,878	55,75	59,80	55	60
ХМ1	9	76,67	4,33	1,443	73,34	80,00	70	85
ХМ2	9	77,22	5,07	1,690	73,33	81,12	70	85
ХМ3	9	13,33	2,50	0,833	11,41	15,26	10	15

Табела 14. Вредности отпора при удисању филтрирајућих полумаски и целокупног модела заштитних маски при протоку ваздуха од 95 dm³/min

N	p (Pa)							
	ЗМ М2	ЗМ М2Ф	ЗМ М3	ЕМ1	ЕМ2	ХМ1	ХМ2	ХМ3
1	390	340	310	140	125	260	270	140
2	380	350	330	145	125	270	270	140
3	400	330	320	145	125	270	275	140
4				140	135	270	270	135
5				145	130	260	280	140
6				140	130	265	275	145
7				145	135	265	280	140
8				140	125	270	270	145
9				145	130	260	270	140

Табела 15. Статистички параметри серија резултата наведених у Табели 14.

Ознака испитног модела	N	\bar{X}	SD	Стандардна грешка	95 % интервал поверења		Најмања вредност	Највећа вредност
					Доња граница	Горња граница		
ЗМ М2	3	390,00	10,00	5,774	365,16	414,84	380	400
ЗМ М2Ф	3	340,00	10,00	5,774	315,16	364,84	330	350
ЗМ М3	3	320,00	10,00	5,774	295,16	344,84	310	330
ЕМ1	9	142,78	2,64	0,878	140,75	144,80	140	145
ЕМ2	9	128,89	4,17	1,389	125,69	132,09	125	135
ХМ1	9	265,56	4,64	1,547	261,99	269,12	260	270
ХМ2	9	273,33	4,33	1,443	270,00	276,66	270	280
ХМ3	9	140,56	3,01	1,002	138,25	142,87	135	145

Критеријуми за отпор при удисању целокупне заштитне маске (образина + комбиновани филтар) горе наведених модела при протоку ваздуха од $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ и $95 \text{ dm}^3/\text{min}$ дефинисани су прописима о квалитету производа ПКП 2697/87[88], ПКП 6082/99 [89] и ПКП 6590/09 [90] по следећем:

- при протоку ваздуха од $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ укупни отпор при удисању не сме да буде већи од 230 Pa код 3M M2 и 3M M2Ф, односно 170 Pa код 3M M3,
- при протоку ваздуха од $95 \text{ dm}^3/\text{min}$ укупни отпор при удисању не сме да буде већи од 810 Pa код 3M M2 и 3M M2Ф, односно 750 Pa код 3M M3.

Као што се види из Табела 12. и 13., код свих испитних узорака заштитних маски свих модела, вредности отпора при удисању при протоку $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ су мање у односу на прописима дефинисане вредности, у просеку око 50 % за 3M M2, 45 % за 3M M2Ф и око 30 % за 3M M3. Из Табела 14. и 15. може да се види да су код свих испитних узорака заштитних маски свих модела, вредности отпора при удисању при протоку $95 \text{ dm}^3/\text{min}$ знатно мање у односу на прописима дефинисане вредности, у просеку преко 50 % за 3M M2 и око 60 % за 3M M2Ф и 3M M3. Сходно изложеном, сви узорци свих модела заштитне маске испуњавају задате критеријуме.

Према критеријуму за отпор при удисању филтрирајућих полумаски дефинисаном у стандарду SRPS EN 149:2013[84], предвиђено је да вредност отпора при удисању сваког узорка филтрирајуће полумаске:

- при протоку ваздуха од $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ не сме да прелази од 60 Pa за FFP1 класу, 70 Pa за FFP2 класу и 100 Pa за FFP3 класу ове врсте средства,
- при протоку ваздуха од $95 \text{ dm}^3/\text{min}$ не сме да прелази вредност од 210 Pa за FFP1 класу, 240 Pa за FFP2 класу и 300 Pa за FFP3 класу ове врсте средства.

Пошто је при испитивању пропуштања према унутрашњости и ефикасности филтрирања утврђено да узорци филтрирајућих полумаски модела EM1, EM2, XM1 и XM2 припадају FFP3 класи, а узорци модела XM3 FFP2 класи, сходно овом ће се посматрати критеријум за отпор при удисању који треба да испуни свако од наведених средстава.

Из Табела 12. и 13. се види да су при протоку ваздуха од $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ вредности отпора при удисању:

- мање у односу на дефинисани критеријум од 100 Pa код свих испитних узорака филтрирајућих полумаски модела EM1, EM2, XM1 и XM2, у просеку око 48 % за EM1, око 42 % за EM2, око 23 % за XM1 и XM2,
- мање у односу на дефинисани критеријум од 70 Pa код свих испитних узорака филтрирајућих полумаски модела XM3, у просеку за око 56 %.

Из Табела 14. и 15. се види да су при протоку ваздуха од $95 \text{ dm}^3/\text{min}$ вредности отпора при удисању:

- мање у односу на дефинисани критеријум од 300 Pa код свих испитних узорака филтрирајућих полумаски модела EM1, EM2, XM1 и XM2, у просеку око 52 % за EM1, око 57 % за EM2, око 11 % за XM1 и око 9 % за XM2,
- мање у односу на дефинисани критеријум од 240 Pa код свих испитних узорака филтрирајуће полумаске модела XM3, у просеку за око 71 %.

Сходно изложеном, сви узорци свих модела филтрирајућих полумаски у потпуности испуњавају задате критеријуме.

5.2.2. Резултати испитивања отпора комбинованог филтра

Вредности отпора комбинованог филтра при удисању (p), добијене експерименталним испитивањима сваког модела наведеног средстава при протоку ваздуха од $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ и $95 \text{ dm}^3/\text{min}$, груписане су по серијама сходно испитној процедури и приказане у Табели 16. Основни статистички параметри наведених серија су приказани у Табели 17.

Табела 16. Вредности отпора комбинованог филтра при удисању при протоку ваздуха од $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ и $95 \text{ dm}^3/\text{min}$

		p (Pa)					
		КФ М2		КФ М2Ф		КФ М3	
Проток (dm^3/min)		30	95	30	95	30	95
N	1	130	390	130	360	115	340
	2	140	410	150	380	110	350
	3	130	420	140	380	120	340
	4	120	410	140	370	110	330

Табела 17. Статистички параметри серија резултата наведених у Табели 16.

Ознака испитног модела	Проток (dm^3/min)	N	\bar{X}	SD	Стандардна грешка	95 % интервал поверења		Најмања вредност	Највећа вредност
						Доња граница	Горња граница		
ЗМ М2	30	4	130,00	8,16	4,082	117,01	142,99	120	140
	95	4	407,50	12,58	6,292	387,48	427,52	390	420
ЗМ М2Ф	30	4	140,00	8,16	4,082	127,01	152,99	130	150
	95	4	372,50	9,57	4,787	357,27	387,73	360	380
ЗМ М3	30	4	113,75	4,79	2,394	106,13	121,37	110	120
	95	4	340,00	8,16	4,082	327,01	352,99	330	350

Стандардом SRPS EN 14387:2013 [82] је дефинисано да при испитивању отпора при удисању комбиновани филтри морају задовољити критеријум који је у складу са класификацијом ове врсте заштитних средстава. Пошто се комбиновани филтри састоје од гасног филтра и филтра за честице, критеријум се узима у складу са класом и једног и другог саставног филтра. Гасни филтар у саставу комбинованог филтра припада класи 2 ове врсте заштитних средстава, а при испитивању ефикасности филтрирања утврђено је да филтри за честице сва три испитивана модела комбинованих филтара припадају P3 класи ове врсте заштитних средстава. Сходно овом ће се посматрати критеријум за отпор при удисању који је дефинисан за 2-P3 класу комбинованих филтара, према коме следи да при протоку ваздуха од $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ отпор при удисању не сме да буде већи од 260 Pa, а при протоку ваздуха од $95 \text{ dm}^3/\text{min}$ не сме да буде већи од 980 Pa.

Као што се види из Табела 16. и 17., код свих испитних узорака комбинованих филтара вредности отпора при удисању су знатно мање у односу на критеријумом задате вредности, и то:

- при протоку $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ у просеку 50 % за КФ М2, око 45 % за КФ М2Ф и око 55 % за за КФ М3,
- при протоку $95 \text{ dm}^3/\text{min}$ у просеку око 58 % за КФ М2, око 62 % за КФ М2Ф и 65 % за КФ М3.

Сходно томе сви узорци свих модела комбинованих филтара испуњавају задате критеријуме.

6. Дискусија

Ради детаљне дискусије добијених резултата испитивања урађена је њихова статистичка обрада помоћу статистичког програмског пакета *IBM SPSS Statistics Data Editor*, верзија 20. Нормална статистичка расподела резултата добијених експерименталним испитивањима сваког средства тестирана је *Shapiro-Wilk* тестом³³. За међусобно упоређивање свих серија резултата и утврђивање постојања статистички значајне различитости међу њима:

1. код серија резултата за које је утврђено да њихови резултати подлежу нормалној статистичкој дистрибуцији коришћен је *One-Way ANOVA* тест,

2. код серија резултата чији резултати нису подлежали нормалној статистичкој дистрибуцији упоређивање са свим осталим серијама резултата вршено је коришћењем *Kruskal-Wallis* теста.

Уколико би било утврђено да постоји статистички значајна разлика између серија резултата, за утврђивање између којих серија тачно постоји разлика:

- у првом случају испитивана је хомогеност варијанси, а потом *Post Hoc* вишеструко поређење коришћењем *Dunnett's T3* или *Bonferroni* методе (зависно од резултата испитивања хомогености),

- у другом случају вршено је *Post Hoc* вишеструко поређење коришћењем *Dunn-Bonferroni* методе.

Сви наведени тестови су вршени са дефинисаном статистичком значајношћу на нивоу вероватноће од 0,05.

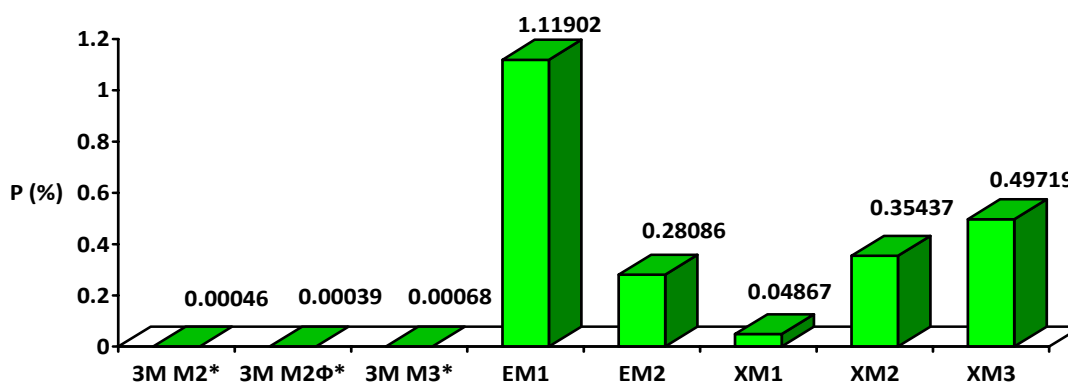
6.1. Дискусија резултата испитивања ефикасности заштите средстава респираторне заштите

Дискусијом резултата испитивања ефикасности заштите средстава респираторне заштите су обухваћени резултати испитивања пропуштања према унутрашњости и испитивања пропуштања кроз филтрирајући медијум.

6.1.1. Дискусија резултата испитивања пропуштања према унутрашњости

Аритметичка средина резултата испитивања пропуштања према унутрашњости модела образина заштитних маски и филтрирајућих полумаски дата је на Слици 38.

³³ Овај тест се примењује када је обим узорка мањи од 50 резултата.



Слика 38. Просечне вредности резултата испитивања пропуштања према унутрашњости свих модела образа заштитних маски* и филтрирајућих полумаски

Аритметичке средине вредности пропуштања према унутрашњости код свих модела образа заштитних маски су изузетно мале (близу доње границе мерљивости уређаја), тако да су много мање у односу на вредност дефинисану стандардом за ову врсту средстава [81]. И стандардне девијације вредности пропуштања у оквиру серије резултата, код свих ових модела, такође су изузетно мале (3M M2 – 0,00005, 3M M2Ф – 0,00006, 3M M3 – 0,00011), што значи да су вредности пропуштања врло хомогене по серијама добијених резултата испитивања. Ове две чињенице указују на то да су сви модели наведених средстава врхунског квалитета израде.

Аритметичке средине вредности пропуштања према унутрашњости код свих модела филтрирајућих полумаски су такође мале, тако да сви модели испуњавају најстрожије критеријуме за пропуштање код ове врсте заштитних средстава и по томе спадају у најефикаснију FFP3 класу [84]. Стандардне девијације вредности пропуштања у оквиру серије резултата и код свих модела ових средстава, такође су мале (EM1 – 0,00667, EM2 – 0,04897, XM1 – 0,00613, XM2 – 0,05730, XM3 – 0,05801). Наведено показује да су и сви испитивани модели филтрирајућих полумаски високог квалитета израде.

Пошто се вредности аритметичке средине и стандардне девијације прилично разликују од модела до модела наведених средстава, а посебно између модела образа заштитних маски и филтрирајућих полумаски, у сврху њиховог поређења вршено је утврђивање постојања статистички значајне различитости између серија резултата добијених испитивањима.

У ту сврху, тестирањем нормалне статистичке расподеле резултата добијених експерименталним испитивањима утврђено је да вредности испитивања филтрирајућих

полумаски подлежу нормалној статистичкој расподели, а да вредности испитивања образаина заштитних маски не подлежу (Табела 18.).

Табела 18. Резултати тестирања нормалне статистичке расподеле резултата *Shapiro-Wilk* тестом са статистичком значајношћу³⁴ на нивоу вероватноће од 0,05

	ЗМ М2*	ЗМ М2Ф*	ЗМ М3*	ЕМ1	ЕМ2	ХМ1	ХМ2	ХМ3
Sig.	<u>0,000</u>	<u>0,004</u>	<u>0,029</u>	0,587	0,233	0,323	0,246	0,890

* тестирана је само образаина ЗМ са свим компонентама без комбинованог филтра

Сходно овом, вредности испитивања филтрирајућих полумаски су даље тестиране *One-Way ANOVA* тестом, а вредности испитивања образаина заштитних маски *Kruskal-Wallis* тестом. Потом су, у оба случаја, вршена вишеструка поређења. У Табели 19. су приказани резултати наведених тестирања.

Табела 19. Резултати тестирања постојања статистички значајне различитости између серија резултата добијених испитивањима (на нивоу вероватноће од 0,05)

Ознака испитног модела	ЗМ М2*	ЗМ М2Ф*	ЗМ М3*	ЕМ1	ЕМ2	ХМ1	ХМ2	ХМ3
ЗМ М2*	-	<u>1,000</u>	<u>1,000</u>	0,000	0,036	<u>0,996</u>	0,002	0,000
ЗМ М2Ф*		-	<u>1,000</u>	0,000	0,004	<u>0,203</u>	0,000	0,000
ЗМ М3*			-	0,000	<u>0,961</u>	<u>1,000</u>	<u>0,134</u>	0,003
ЕМ1				-	0,000	0,000	0,000	0,000
ЕМ2					-	0,000	<u>0,059</u>	0,000
ХМ1						-	0,000	0,000
ХМ2							-	0,000
ХМ3								-

Пошто је реч о пуним маскама, уопште не чуди што су вредности пропуштања образаина ЗМ много мање у односу на вредности пропуштања модела филтрирајућих полумаски (у просеку од 100 до преко 2000 пута) и што постоји статистички значајна разлика између њихових серија резултата. Уз то, изузетно мале вредности стандардних девијација резултата пропуштања указују да су образине свих модела заштитних маски врхунског квалитета конструкције и израде, јер и по конструкцијском основу (величинске димензије, налагање средства на лице корисника), у односу на стандардом задату антропометријску матрицу изузетно одговарају распону антропометријских димензија наше популације становништва.

³⁴ Sig. – *Significance* (енгл.) – ознака за статистичку значајност.

Битно је запазити да између свих модела образине заштитних маски и модела ХМ1 не постоји статистички значајна разлика, што указује на то да се модел ХМ1 од свих филтрирајућих полумаски издваја веома високим квалитетом конструкције и израде. У прилог томе иду и најмања средња вредност пропуштања и најмања стандардна девијација у односу на све остале моделе филтрирајућих полумаски.

У складу са субјективним запажањима испитаника, током тестирања је било могуће приметити критична места која најнеповољније утичу на вредност пропуштања код филтрирајућих полумаски. Запажена критична места су подручје где се метална трака причвршћује за нос корисника и подручје где средство покрива браду корисника (конструкцијска плиткост средства).

Од значаја су и субјективна запажања испитаника да:

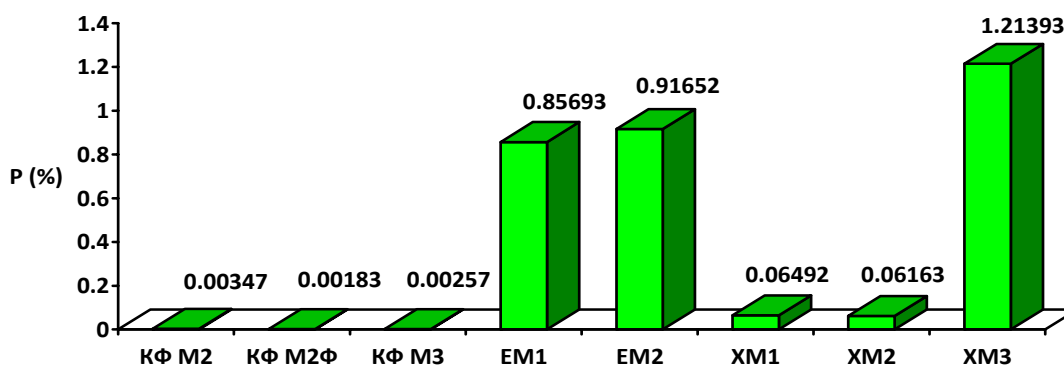
- од свих испитиваних средстава, најбоље налегање на лице корисника имају образине заштитних маски,
- међу филтрирајућим полумаскама најбоље налегање на лице имају модели ХМ1 и ЕМ2, док најнеповољније налегање имају модели ХМ3 и ЕМ1, што је у сагласности са добијеним резултатима испитивања и претходно изнетим констатацијама,
- већи комфор при употреби омогућавају филтрирајуће полумаске, а међу њима највећи комфор обезбеђује модел ХМ1.

6.1.2. Дискусија резултата испитивања пропуштања кроз филтрирајући медијум

Дискусијом резултата испитивања пропуштања кроз филтрирајући медијум су обухваћени резултати испитивања ефикасности филтрирања филтрирајућих медијума и испитивање динамике филтрирања аеросола филтрирајућим медијумима.

Дискусија резултата испитивања ефикасности филтрирања филтрирајућих медијума

Аритметичка средина резултата испитивања пропуштања кроз филтрирајући медијум свих модела комбинованих филтара и филтрирајућих полумаски при протоку испитног аеросола од $95 \text{ dm}^3/\text{min}$ приказана је на Слици 39.



Слика 39. Просечне вредности резултата испитивања пропуштања кроз филтрирајући медијум свих модела комбинованих филтара и филтрирајућих полумаски при протоку испитног аеросола од $95 \text{ dm}^3/\text{min}$

Аритметичке средине вредности пропуштања кроз филтрирајући медијум при протоку испитног аеросола од $95 \text{ dm}^3/\text{min}$ код свих модела комбинованих филтара су много мање у односу на вредност дефинисану стандардом, тако да сви испитивани модели спадају у најефикаснију Р3 класу [83]. И стандардне девијације вредности пропуштања у оквиру серије резултата, код свих ових модела, такође су изузетно мале (КФ М2 – 0,00026, КФ М2Ф – 0,00031, КФ М3 – 0,00031), што значи да су вредности пропуштања врло хомогене по серијама резултата добијених испитивањима. Ове две чињенице указују на то да су у свим моделима наведених средстава уграђени филтрирајући материјали врхунског квалитета.

Аритметичке средине вредности пропуштања кроз филтрирајући медијум при протоку испитног аеросола од $95 \text{ dm}^3/\text{min}$ код свих модела филтрирајућих полумаски изузев ХМ3 су испод границе најстрожијег критеријума за пропуштање код ове врсте заштитних средстава, тако да модел ХМ3 спада у FFP2 класу, а сви остали модели у најефикаснију FFP3 класу [84]. За разлику од комбинованих филтара, код ових модела је приметна велика разлика у вредностима пропуштања, толико да су вредности пропуштања код модела ХМ1 и ХМ2 преко десет пута мање у односу на вредности пропуштања осталих модела. Уз ово, стандардне девијације вредности пропуштања у оквиру серије резултата код свих модела ових средстава такође су мале (ЕМ1 – 0,01017, ЕМ2 – 0,01008, ХМ1 – 0,00690, ХМ2 – 0,00425, ХМ3 – 0,02033), а модели ХМ1 и ХМ2 се по најнижим стандардним девијацијама поново издвајају од осталих.

Према свему изложеном може се запазити да су, сходно критеријумима за филтрирајуће полумаске, и у свим моделима ових средстава уграђени филтрирајући материјали високог квалитета, међу којима се посебно издвајају филтрирајући материјали модела ХМ1 и ХМ2.

Пошто се вредности аритметичке средине и стандардне девијације прилично разликују између модела филтрирајућих полумаски и комбинованих филтара заштитних маски, као и између самих модела филтрирајућих полумаски, у сврху њиховог поређења вршено је утврђивање постојања статистички значајне различитости између серија резултата добијених испитивањима.

Тестирање нормалне статистичке расподеле резултата добијених експерименталним испитивањима показало је да вредности испитивања подлежу нормалној статистичкој расподели код свих испитиваних модела наведених заштитних средстава, осим код модела ХМ3 (Табела 20.).

Табела 20. Резултати тестирања нормалне статистичке расподеле резултата *Shapiro-Wilk* тестом са статистичком значајношћу на нивоу вероватноће од 0,05

	КФ М2	КФ М2Ф	КФ М3	ЕМ1	ЕМ2	ХМ1	ХМ2	ХМ3
Sig.	0,780	0,637	0,637	0,489	0,207	0,721	0,952	<u>0,025</u>

Сходно овоме, вредности испитивања свих модела са нормалном расподелом резултата су даље тестиране *One-Way ANOVA* тестом, а вредности испитивања модела ХМ3 *Kruskal-Wallis* тестом. Потом су, у оба случаја, вршена вишеструка поређења. У Табели 21. су приказани резултати наведених тестирања.

Табела 21. Резултати тестирања постојања статистички значајне различитости између серија резултата добијених испитивањима (на нивоу вероватноће од 0,05)

Ознака испитног модела	КФ М2	КФ М2Ф	КФ М3	ЕМ1	ЕМ2	ХМ1	ХМ2	ХМ3
КФ М2	-	0,021	<u>0,148</u>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002
КФ М2Ф		-	<u>0,314</u>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
КФ М3			-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003
ЕМ1				-	0,000	0,000	0,000	0,000
ЕМ2					-	0,000	0,000	0,000
ХМ1						-	<u>0,983</u>	0,001
ХМ2							-	0,000
ХМ3								-

Може се запазити да постоји значајна статистичка разлика између свих серија резултата испитивања, осим у три случаја: између модела КФ М2 и КФ М3, између модела КФ М2Ф и КФ М3, и између модела ХМ1 и ХМ2.

Када је реч о комбинованим филтрима, уопште не чуди што су вредности њиховог пропуштања много мање у односу на вредности пропуштања модела

филтрирајућих полумаски (у просеку од преко 30 до преко 660 пута) и што постоји статистички значајна разлика између њихових и серија резултата филтрирајућих полумаски. При производњи комбинованих филтара, њихов противаеросолни део се прави плисирањем основног филтрирајућег материјала (филтар папира), чиме се постиже велика активна филтрирајућа површина (око 1000 cm^2) у релативно малој запремини. За разлику од њих, филтрирајући материјали који су уграђени у филтрирајуће полумаске нису плисирани, тако да је њихова активна филтрирајућа површина око десет пута мања (око 100 cm^2).

На први поглед, код свих модела комбинованих филтара су блиске аритметичке средине вредности пропуштања и врло сличне вредности стандардних девијација. Међутим, тестови су показали да између серија резултата добијених испитивањима КФ М2 и КФ М2Ф ипак постоји значајна статистичка разлика. У односу на остале, најмање пропуштање има КФ М2Ф, за нијансу мање од КФ М3, а статистички значајно у односу на КФ М2. Ово указује да КФ М2Ф има за нијансу боље - или конструкционе карактеристике (боље плисирање, већа активна филтрирајућа површина) или структурне особине (пречник влакна, површина, дебљина и порозност) од КФ М3, односно прилично боље у односу на КФ М2.

За разлику од комбинованих филтара, код појединих модела филтрирајућих полумаски је присутна велика разлика у вредностима пропуштања и стандардних девијација. Пошто у овом случају нема плисирања, намеће се као закључак да ефикасност филтрирања ових средстава директно зависи од квалитета уграђених филтрирајућих материјала, односно њихових структурних особина. На основу овога, може се закључити да су у моделима ХМ1 и ХМ2 уграђени филтрирајући материјали прилично бољег квалитета у односу на остале моделе филтрирајућих полумаски.

Сходно свим претходно наведеним чињеницама, може се закључити да су према квалитету филтрирајућих материјала, у испитиваним моделима комбинованих филтара уграђени ефикаснији филтрирајући материјали и бољег квалитета у односу на филтрирајуће материјале уграђене у испитиване моделе филтрирајућих полумаски. Међу моделима комбинованих филтара квалитетом уграђених филтрирајућих материјала се истичу модели КФ М2Ф и КФ М3, а међу моделима филтрирајућих полумаски модели ХМ1 и ХМ2.

Дискусија резултата испитивања динамике филтрирања аеросола филтрирајућим медијумима

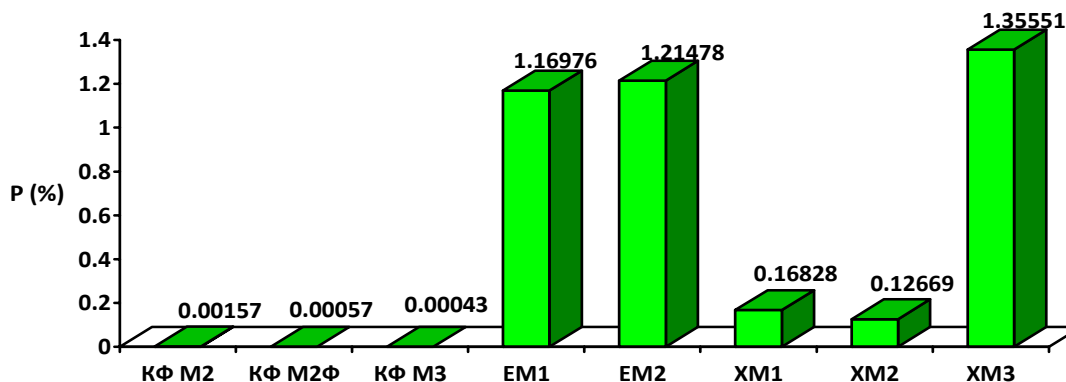
Динамика филтрирања аеросола филтрирајућим медијумима представља последицу промена које настају у самом филтрирајућем материјалу, односно промена у његовој структури током експлоатације. Ове промене се најчешће јављају услед таложења честица на влакнима филтрирајућег материјала, када се издвојене честице не распоређују правилно преко површине влакана, него образују ланчане накупине, чиме повећавају дебљину препреке (влакно + исталожене честице) и смањују порозност. Услед овог процеса повећава се ефикасност филтрирајућег медијума уз незнатно повећање отпора. Што је процес филтрирања дужи или су веће концентрације честица аеродисперзионог система, то се брже оформљује хомогенији слој честица који у зависности од величине утиче на веће или мање повећање отпора протоку аеросола. Уколико су аеросол и проток константних карактеристика, у идеалном случају, ефикасност филтрирања и промена отпора су директно пропорционални времену филтрирања. Сходно овој поставци, карактеристике квалитета одређеног филтрирајућег материјала могу се одређивати преко испитивања динамике филтрирања аеросола филтрирајућим медијумима, односно преко испитивања ефикасности филтрирања при различитим протоцима, као и преко истовременог испитивања ефикасности филтрирања и промене отпора филтрирајућег материјала у зависности од времена филтрирања при различитим протоцима.

Испитивање ефикасности филтрирања при различитим протоцима

Иако је стандардима дефинисано да се испитивања пропуштања кроз филтрирајуће медијуме врше при протоку испитног аеросола од $95 \text{ dm}^3/\text{min}$ [82, 84], за потребе ове дисертације вршено је и испитивање пропуштања кроз филтрирајуће медијуме при протоку испитног аеросола од $30 \text{ dm}^3/\text{min}$. Одлука о извођењу испитивања и при овом протоку, донешена је на основу чињенице да у случају стварне употребе ових средстава у мирнодопским условима, када се захтева свакодневно потпуно и несметано вишечасовно обављање наменских задатака, минутни волумен дисања корисника заштитног средства износи од 6 до $8 \text{ dm}^3/\text{min}$ [89] (нормално дисање, присутно у највећем броју случајева), па чак и до $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ при неком повећаном физичком напрезању (брзо ходање, умерено трчање, гажење стројевог корака). Уз то, намеће се и потреба за информацијама о понашању филтрирајућих материјала комбинованих филтара и филтрирајућих полумаски под утицајем различитих протока, одн. како различити протоци испитног аеросола утичу на њихову ефикасност

филтрирања. На основу наведених чињеница, било је сврсисходно испитати пропуштање филтрирајућих медијума и при протоку испитног агенса од $30 \text{ dm}^3/\text{min}$.

Аритметичка средина резултата испитивања пропуштања кроз филтрирајући медијум свих модела комбинованих филтара и филтрирајућих полумаски при протоку испитног аеросола од $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ приказана је на Слици 40.



Слика 40. Просечне вредности резултата испитивања пропуштања кроз филтрирајући медијум свих модела комбинованих филтара и филтрирајућих полумаски при протоку испитног аеросола од $30 \text{ dm}^3/\text{min}$

Аритметичке средине вредности пропуштања кроз филтрирајући медијум при протоку испитног аеросола од $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ код свих модела комбинованих филтара су прилично мање (од 2 пута код модела КФ М2 до скоро 6 пута код модела КФ М3) у односу на аритметичке средине вредности пропуштања при протоку од $95 \text{ dm}^3/\text{min}$. И стандардне девијације вредности пропуштања у оквиру серије резултата, код свих ових модела, такође су изузетно мале (КФ М2 – 0,00035, КФ М2Ф – 0,00015, КФ М3 – 0,00015), што значи да су вредности пропуштања такође врло хомогене по серијама резултата добијених испитивањима. Ове две чињенице потврђују констатацију да су у свим моделима наведених средстава уграђени филтрирајући материјали врхунског квалитета.

Аритметичке средине вредности пропуштања кроз филтрирајући медијум при протоку испитног аеросола од $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ код свих модела филтрирајућих полумаски су веће у односу на аритметичке средине вредности пропуштања при протоку од $95 \text{ dm}^3/\text{min}$, у просеку (од малог повећања (око 10 %) код модела ХМ3 до преко 2,5 пута код модела ХМ1). И поред тога вредности пропуштања модела ХМ1 и ХМ2 су знатно испод 1 % пропуштања, што је граница најстрожијег критеријума за пропуштање при три пута већем протоку [84].

Као и при протоку од $95 \text{ dm}^3/\text{min}$, присутна је велика разлика у вредностима пропуштања, толико да су вредности пропуштања код модела ХМ1 и ХМ2 преко седам пута мање у односу на вредности пропуштања осталих модела. Може се запазити да су

стандардне девијације вредности пропуштања у оквиру серије резултата код свих модела ових средстава уједначене (EM1 – 0,01909, EM2 – 0,01042, XM1 – 0,01106, XM2 – 0,00869, XM3 – 0,01023), што није био случај при протоку 95 dm³/min. Ово указује да филтрирајући материјали филтрирајућих полумаски показују униформније карактеристике при мањим протоцима аеросола.

Пошто се вредности аритметичке средине и стандардне девијације прилично разликују између модела филтрирајућих полумаски и комбинованих филтара заштитних маски, као и између самих модела филтрирајућих полумаски, вршено је утврђивање постојања статистички значајне различитости између серија резултата добијених испитивањима.

Тестирање нормалне статистичке расподеле резултата добијених експерименталним испитивањима показало је да вредности испитивања подлежу нормалној статистичкој расподели код свих испитиваних модела наведених заштитних средстава, осим код модела EM2 и XM3 (Табела 22.).

Табела 22. Резултати тестирања нормалне статистичке расподеле резултата *Shapiro-Wilk* тестом са статистичком значајношћу на нивоу вероватноће од 0,05

	КФ М2	КФ М2Ф	КФ М3	EM1	EM2	XM1	XM2	XM3
Sig.	0,843	0,637	0,637	0,306	<u>0,027</u>	0,052	0,054	<u>0,041</u>

Сходно овоме, вредности испитивања свих модела са нормалном расподелом резултата су даље тестиране *One-Way ANOVA* тестом, а вредности испитивања модела EM2 и XM3 *Kruskal-Wallis* тестом. Потом су, у оба случаја, вршена вишеструка поређења. У Табели 23. су приказани резултати наведених тестирања.

Табела 23. Резултати тестирања постојања статистички значајне различитости између серија резултата добијених испитивањима (на нивоу вероватноће од 0,05)

Ознака испитног модела	КФ М2	КФ М2Ф	КФ М3	EM1	EM2	XM1	XM2	XM3
КФ М2	-	<u>0,133</u>	<u>0,099</u>	0,000	0,046	0,000	0,000	0,002
КФ М2Ф		-	<u>0,963</u>	0,000	0,013	0,000	0,000	0,000
КФ М3			-	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000
EM1				-	<u>1,000</u>	0,000	0,000	<u>0,426</u>
EM2					-	<u>0,426</u>	0,008	<u>1,000</u>
XM1						-	0,000	0,008
XM2							-	0,000
XM3								-

Може се запазити да постоји значајна статистичка разлика између свих серија резултата испитивања, осим у случају: код модела КФ М2, КФ М2Ф и КФ М3 међусобно, и код модела ЕМ1, ЕМ2 и ХМ3 међусобно.

Када је у питању поређење комбинованих филтара и филтрирајућих полумаски, као и при протоку од $95 \text{ dm}^3/\text{min}$, много мање вредности пропуштања комбинованих филтара у односу на вредности пропуштања филтрирајућих полумаски и статистички значајна разлика између њихових серија резултата, само су потврда констатације о утицају величине активне филтрирајуће површине на вредности пропуштања.

У односу на значајну статистичку разлику између серија резултата добијених испитивањима КФ М2 и КФ М2Ф при протоку од $95 \text{ dm}^3/\text{min}$, између серија резултата добијених испитивањима свих комбинованих филтара при протоку од $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ нема значајне статистичке разлике, што указује да при мањим протоцима уграђени филтрирајући материјали мање показују разлике у филтрирајућим (конструкционим, структурним) карактеристикама.

За разлику од комбинованих филтара, код појединих модела филтрирајућих полумаски је поново присутна велика разлика у вредностима пропуштања. Може се запазити да су вредности пропуштања код модела ХМ1 и ХМ2 поново најниже у односу на све остале испитиване моделе филтрирајућих полумаски, што потврђује констатацију уочену при испитивању при протоку $95 \text{ dm}^3/\text{min}$ да су у моделима ХМ1 и ХМ2 уграђени филтрирајући материјали знатно бољег квалитета у односу на остале моделе филтрирајућих маски. Такође, може се запазити да се вредности пропуштања код модела ЕМ1, ЕМ2 и ХМ3 статистички значајно не разликују, што је различито у односу на испитивање при потоку $95 \text{ dm}^3/\text{min}$. Ово указује да при мањим протоцима уграђени филтрирајући материјали мање показују разлике у филтрирајућим (конструкционим, структурним) карактеристикама, што је у сагласности са констатацијом датом при дискусији утицаја различитих протока аеросола на пропуштање филтрирајућих медијума комбинованих филтара.

Посматрајући вредности пропуштања при различитим протоцима, код свих испитиваних модела комбинованих филтара пропуштање је веће при већем протоку, што је у сагласности са теоријом филтрирања фино дисперзних субмикронских честица која каже да при повећању брзине ваздушне струје повећава се продирање аеросола, јер се смањује ефикасност таложења по механизму дифузије који има највећи удео у механизму филтрирања субмикронских честица.

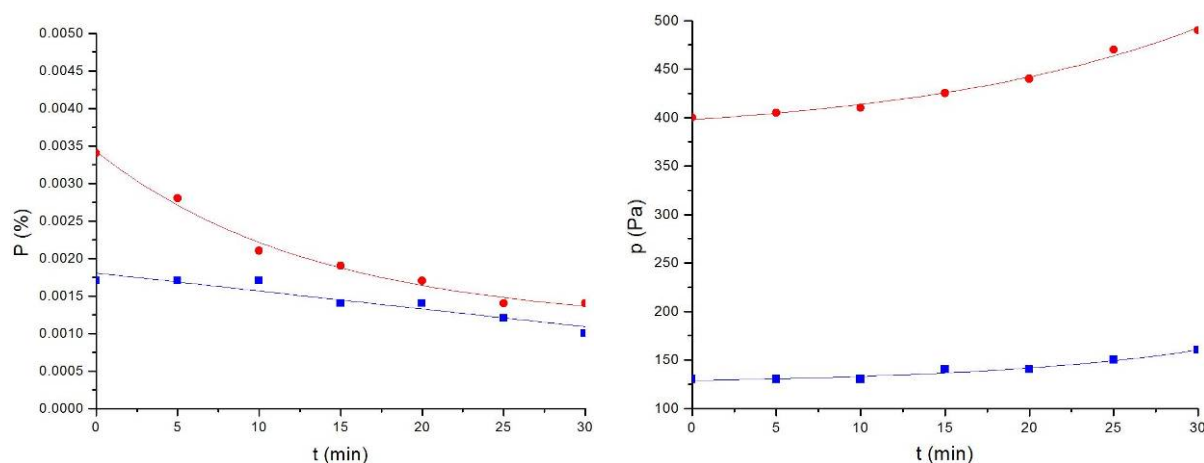
Насупрот томе, вредности пропуштања при различитим протоцима код свих испитиваних модела филтрирајућих полумаски су изразито мање при већем протоку,

што указује на то да се ефикасност филтрирања филтрирајућих полумаски повећава повећањем запреминског протока аеросола. Објашњење ове појаве је у томе што се повећањем брзине струјања аеросола јавља већи потпритисак услед протока кроз малу филтрирајућу површину филтрирајуће полумаске, због чега се влакна филтрирајућег материјала збијају. То изазива смањење пора између влакана и релативно повећање активне филтрирајуће површине у односу на запремину ваздуха који протиче, те резултира повећањем таложења честица по механизму дифузије и у крајњем повећањем ефикасности филтрирања филтрирајућег материјала.

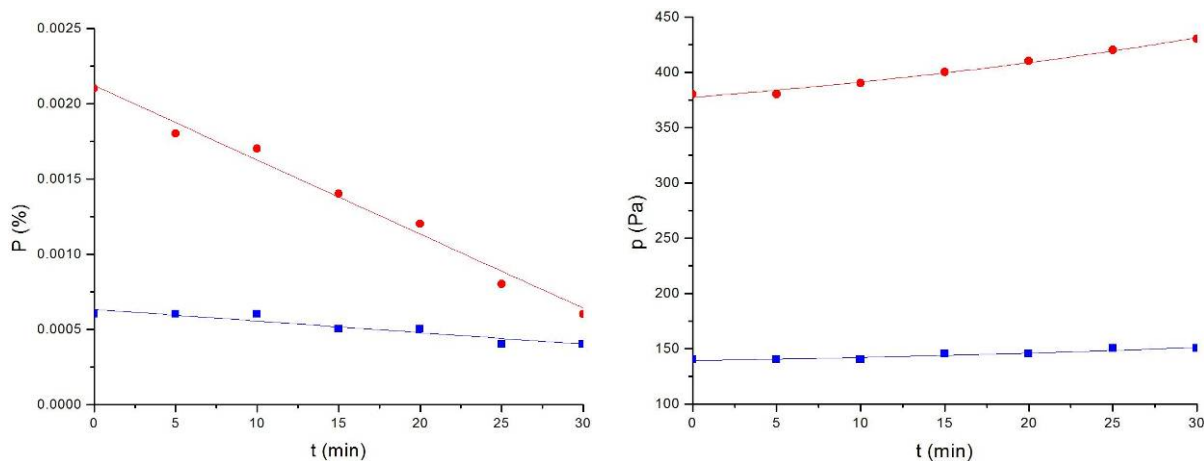
Истовремено испитивање ефикасности филтрирања и промене отпора филтрирајућег материјала у зависности од времена филтрирања при различитим протоцима

У циљу детаљнијег сагледавања квалитативних карактеристика испитиваних филтрирајућих медијума у различитим условима употребе, односно промена које током експлоатације настају у самој структури уграђених филтрирајућих материјала, вршено је истовремено испитивање ефикасности филтрирања и промене отпора филтрирајућег материјала у зависности од времена филтрирања при различитим протоцима.

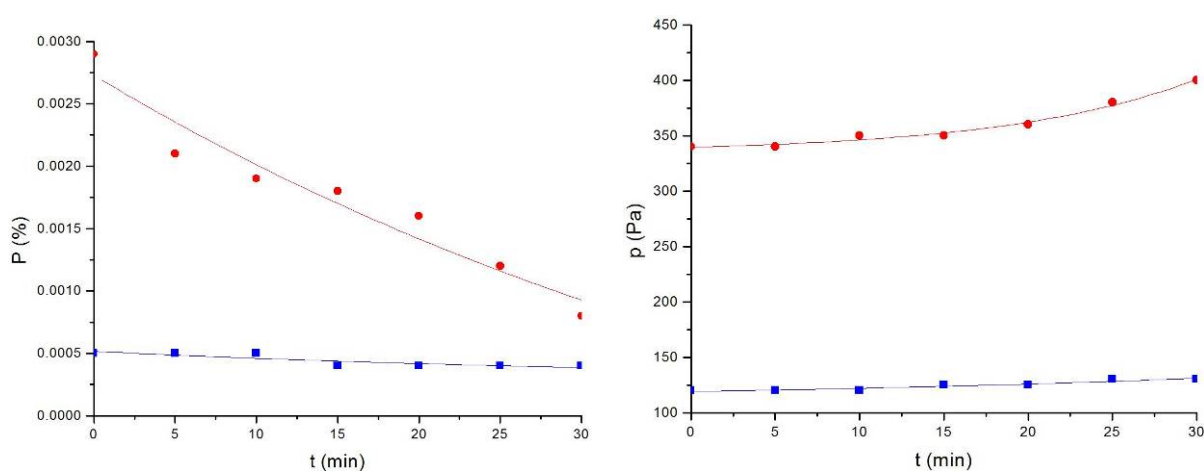
Зависност промене пропуштања (P) и зависност промене отпора (p) филтрирајућег материјала свих испитиваних модела од времена филтрирања (t) при протоцима $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ и $95 \text{ dm}^3/\text{min}$ приказани су на Сликама 41.-48.



Слика 41. Промена пропуштања (P) и отпора (p) филтрирајућег материјала КФ М2 у зависности од времена филтрирања (t) при $95 \text{ dm}^3/\text{min}$ (црвена боја) и $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ (плава боја)



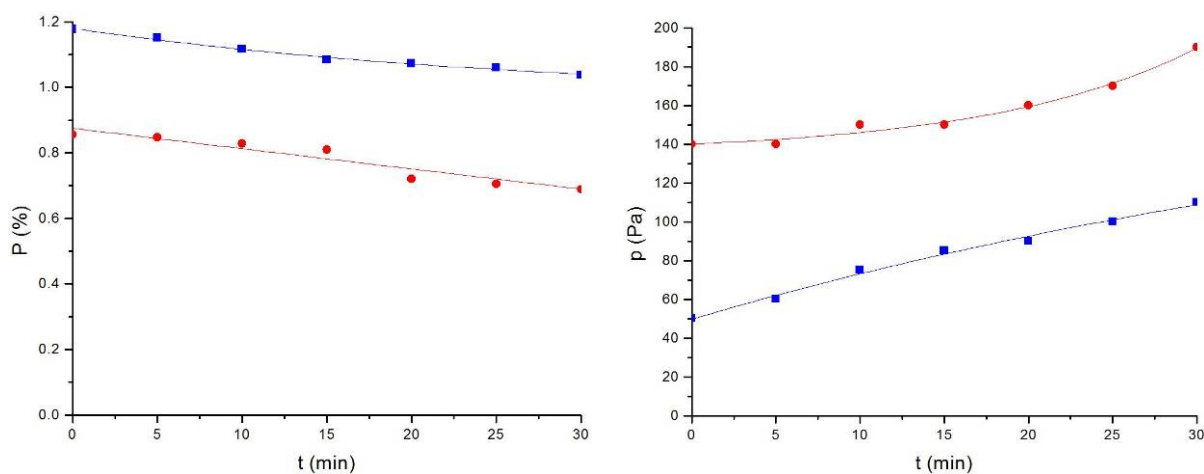
Слика 42. Промена пропуштања (P) и отпора (p) филтрирајућег материјала КФ М2Ф у зависности од времена филтрирања (t) при $95 dm^3/min$ (црвена боја) и $30 dm^3/min$ (плава боја)



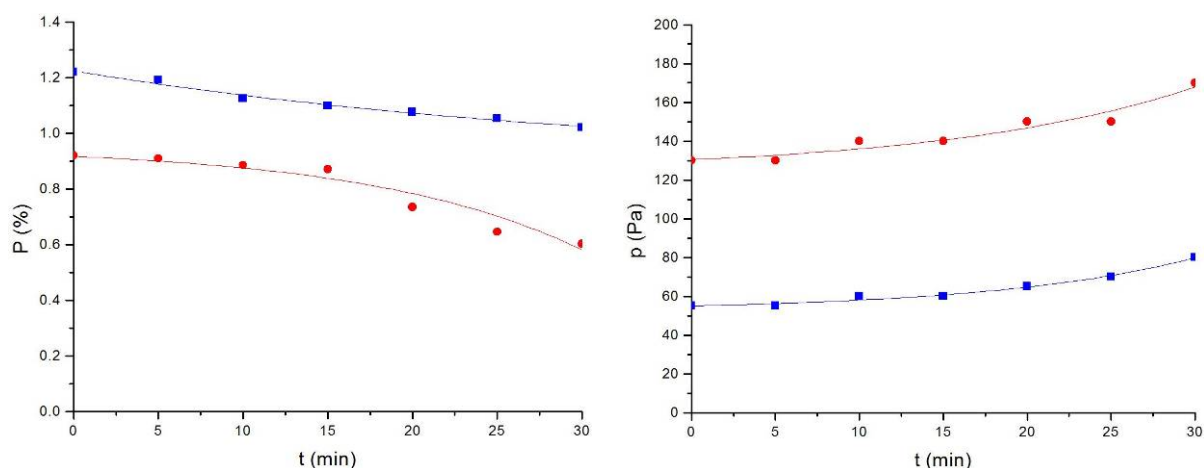
Слика 43. Промена пропуштања (P) и отпора (p) филтрирајућег материјала КФ М3 у зависности од времена филтрирања (t) при $95 dm^3/min$ (црвена боја) и $30 dm^3/min$ (плава боја)

Резултати испитивања показују да модел КФ М2 у односу на све остале показује највеће пропуштање и највећу промену отпора, што указује да има најмању густину паковања, али и најмањи капацитет пуњења, јер даје велике вредности притиска услед брзог пуњења своје активне филтрирајуће површине. Такође, уочљиво је да уграђени филтрирајући материјали код модела комбинованих филтара М2Ф и М3 имају врло сличне структурне филтрирајуће карактеристике. Сходно променама пропуштања и отпора, може се закључити да у односу на модел КФ М2Ф, уграђени филтрирајући материјал код модела КФ М3 има незнатно мању густину паковања и незнатно већи капацитет пуњења, односно већу активну филтрирајућу површину. Утицај ове карактеристике је изразитији при већем протоку испитног аеросола.

Резултати испитивања показују да уграђени филтрирајући материјали код модела EM1 и EM2, односно код модела XM1 и XM2, такође имају врло сличне структурне филтрирајуће карактеристике.



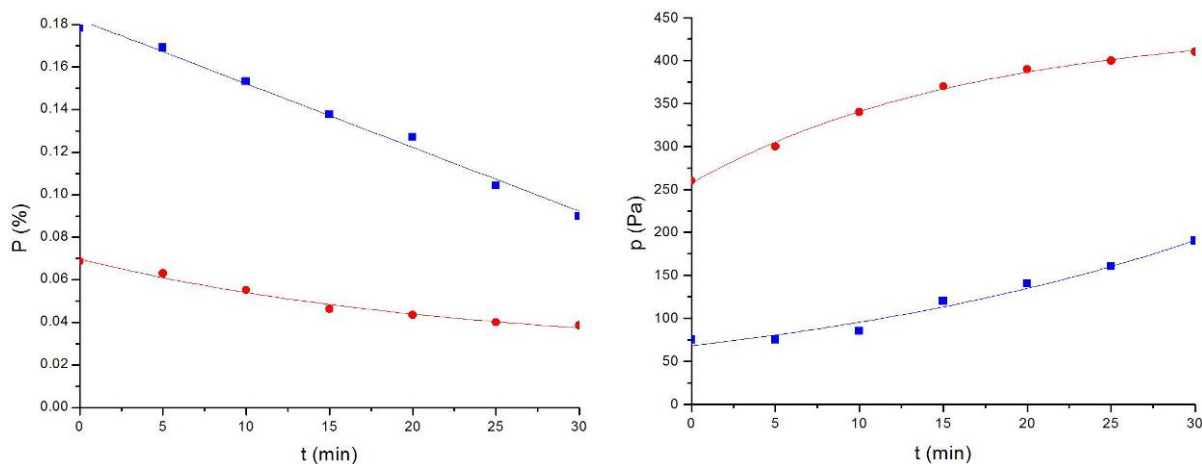
Слика 44. Промена пропусања (P) и отпора (p) филтрирајућег материјала EM1 у зависности од времена филтрирања (t) при $95 \text{ dm}^3/\text{min}$ (црвена боја) и $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ (плава боја)



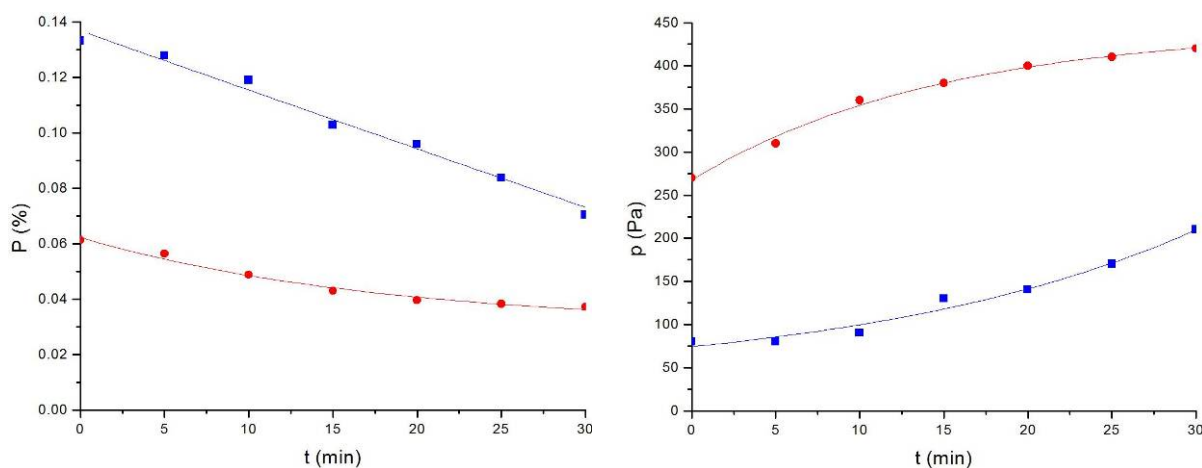
Слика 45. Промена пропусања (P) и отпора (p) филтрирајућег материјала EM2 у зависности од времена филтрирања (t) при $95 \text{ dm}^3/\text{min}$ (црвена боја) и $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ (плава боја)

Сходно променама пропусања и отпора, може се закључити да у односу на модел EM1, уграђени филтрирајући материјал код модела EM2 има мало мању густину паковања и мало већи капацитет пуњења, односно већу активну филтрирајућу површину. Ова појава се може објаснити присуством једног слоја основног филтрирајућег материјала импрегнисаног наночестицама сребра (нано-филтра) при изради модела EM2 филтрирајуће полумаске. Импрегнисане наночестице сребра су заправо јони сребра који имају позитиван поларитет (око њих влада позитивни електрични потенцијал), тако да се све супротно наелектрисане честице хватају у њихову потенцијалну јаму [91].

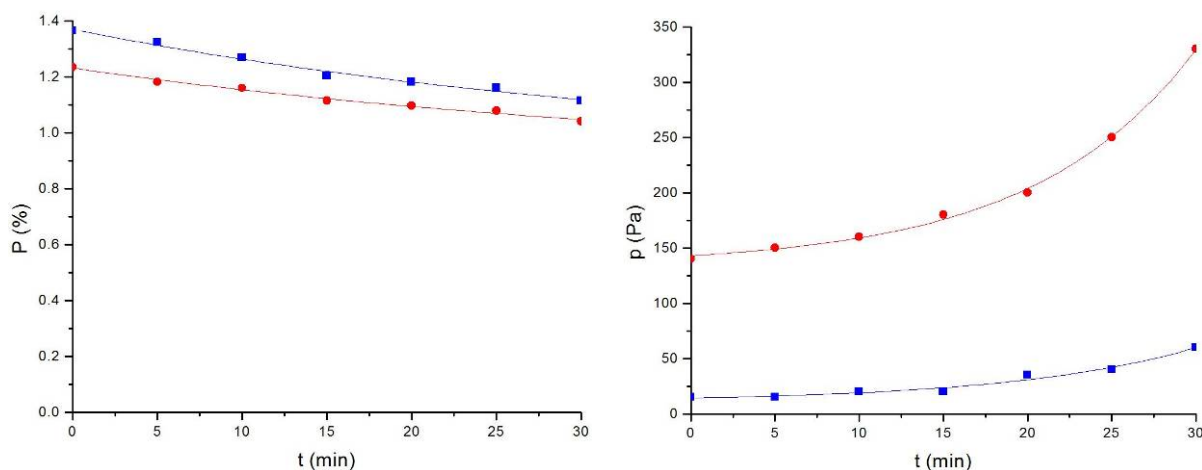
На тај начин се постиже већа активност основног филтрирајућег материјала, што потврђује експериментални резултат где после дужег временског излагања испитном аеролу модел ЕМ2 обезбеђује мање пропуштање, уз мањи отпор, у односу на модел ЕМ1.



Слика 46. Промена пропуштања (P) и отпора (p) филтрирајућег материјала ХМ1 у зависности од времена филтрирања (t) при $95 \text{ dm}^3/\text{min}$ (црвена боја) и $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ (плава боја)



Слика 47. Промена пропуштања (P) и отпора (p) филтрирајућег материјала ХМ2 у зависности од времена филтрирања (t) при $95 \text{ dm}^3/\text{min}$ (црвена боја) и $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ (плава боја)

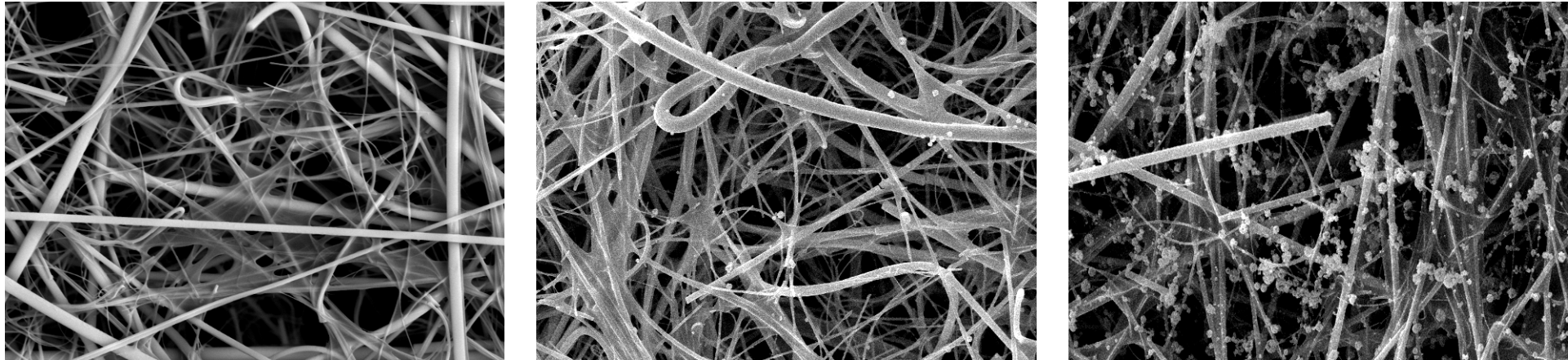


Слика 48. Промена пропуштања (P) и отпора (p) филтрирајућег материјала XM3 у зависности од времена филтрирања (t) при $95 \text{ dm}^3/\text{min}$ (црвена боја) и $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ (плава боја)

Иако су модели EM1 и EM2 четворослојне филтрирајуће полумаске, а модели XM1 и XM2 трослојне филтрирајуће полумаске, модели XM1 и XM2 имају мање вредности пропуштања, као и веће промене пропуштања и пораста отпора, што указује на то да ови модели имају знатно већу густину паковања и релативно мањи капацитет пуњења од модела EM1 и EM2. Модел XM3, који је такође трослојан, у односу на све остале показује највеће пропуштање и највећу промену отпора, што указује да има најмању густину паковања, као и најмањи капацитет пуњења, јер даје велике вредности притиска услед брзог пуњења своје активне филтрирајуће површине.

Резултати испитивања показују изузетно велике разлике између модела комбинованих филтара и филтрирајућих полумаски у динамици промена пропуштања и отпора у зависности од времена. Мања смањења пропуштања и веће промене отпора модела филтрирајућих полумаски у односу на комбиноване филтре, јасно указују на изразит утицај величине активне филтрирајуће површине, јер због много мање активне филтрирајуће површине (око 10 пута), много је мањи капацитет пуњења, па модели филтрирајућих полумаски за исто време постижу много веће промене отпора, чак у равни са појединим моделима комбинованих филтара. Ово се највише увиђа када се посматрају вредности пропуштања и отпора модела комбинованих филтара M2Ф и M3 и модела филтрирајућих полумаски XM1 и XM2.

Са циљем стицања потврде свих претходно изнесених запажања, извршено је снимање узорка испитиваних филтрирајућих материјала СЕМ техником. На Сликама 49. - 56. су приказане СЕМ слике филтрирајућих материјала уграђених у комбиноване филтре и филтрирајуће полумаске у стању пре испитивања (чист филтрирајући материјал) и у стању после излагања аеросолима NaCl - при протоцима од $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ и $95 \text{ dm}^3/\text{min}$.

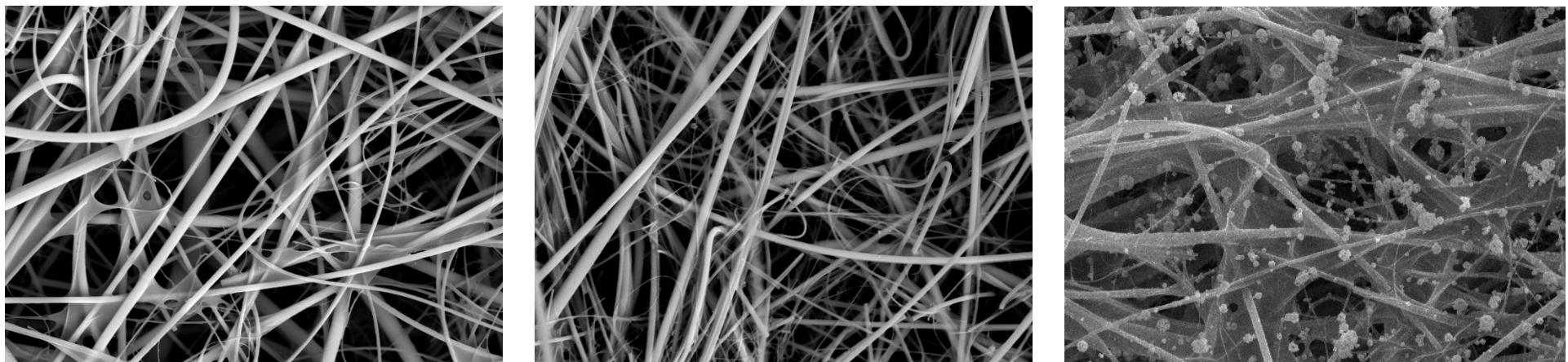


а)

б)

в)

Слика 49. СЕМ слике филтрирајућег материјала филтра за честице уграђеног у модел М2 комбинованих филтара (увећање 1000х): а) чист филтрирајући материјал, б) после излагања аеросолима NaCl при протоку $30 \text{ dm}^3/\text{min}$, и в) после излагања аеросолима NaCl при протоку $95 \text{ dm}^3/\text{min}$.

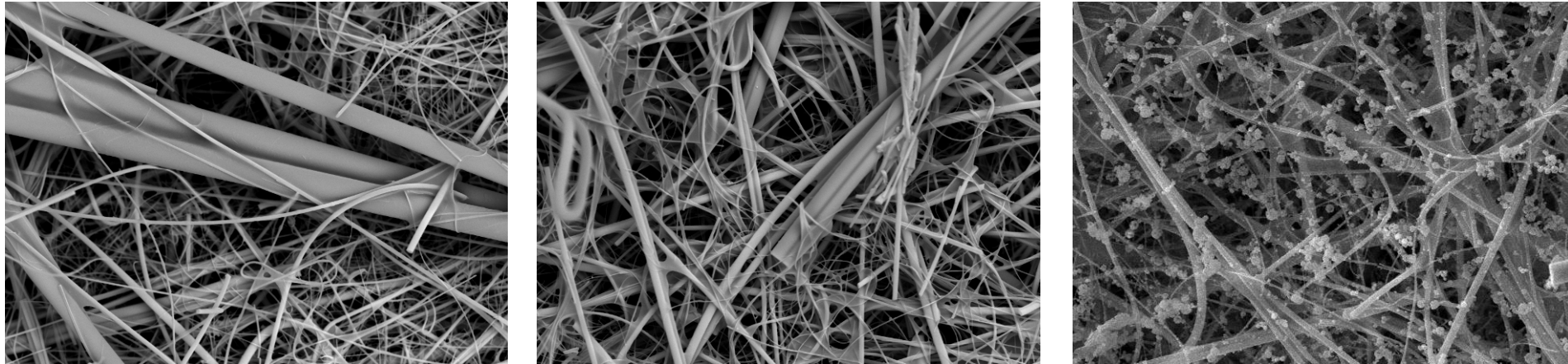


а)

б)

в)

Слика 50. СЕМ слике филтрирајућег материјала филтра за честице уграђеног у модел М2Ф комбинованих филтара (увећање 1000х): а) чист филтрирајући материјал, б) после излагања аеросолима NaCl при протоку $30 \text{ dm}^3/\text{min}$, и в) после излагања аеросолима NaCl при протоку $95 \text{ dm}^3/\text{min}$.

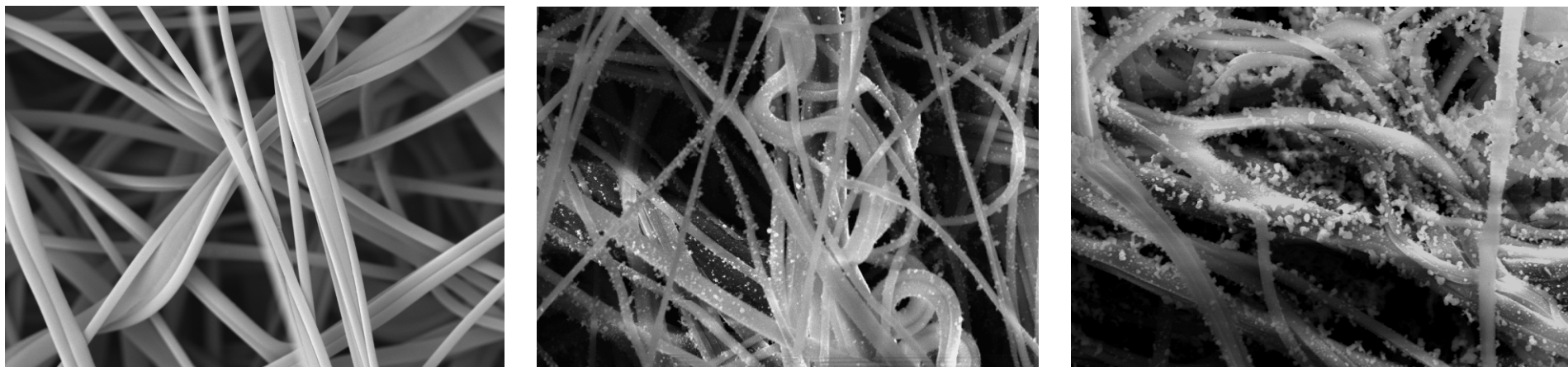


а)

б)

в)

Слика 51. СЕМ слике филтрирајућег материјала филтра за честице уграђеног у модел МЗ комбинованих филтара (увећање 1000х): а) чист филтрирајући материјал, б) после излагања аеросолима NaCl при протоку $30 \text{ dm}^3/\text{min}$, и в) после излагања аеросолима NaCl при протоку $95 \text{ dm}^3/\text{min}$.

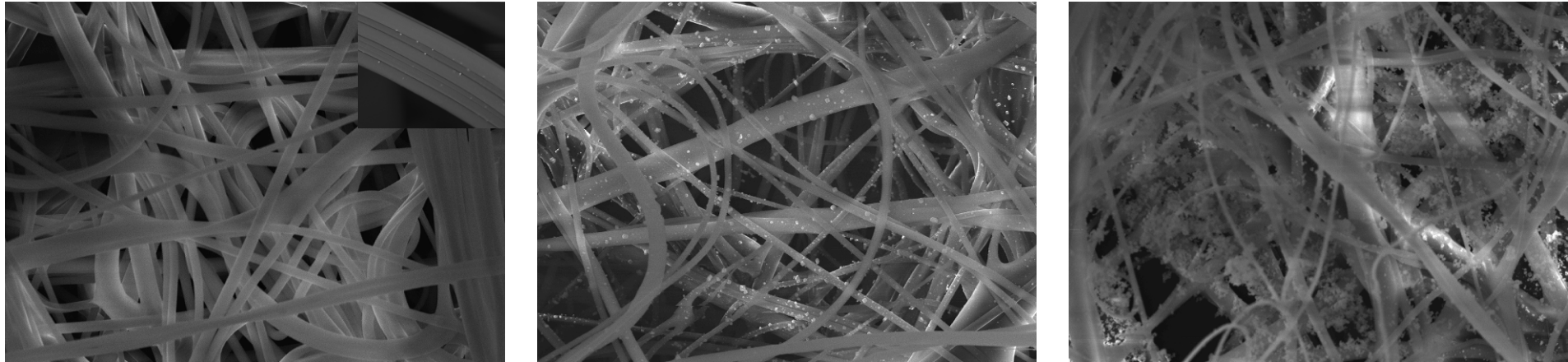


а)

б)

в)

Слика 52. СЕМ слике филтрирајућег материјала уграђеног у модел EM1 филтрирајућих полумаски (увећање 1000х): а) чист филтрирајући материјал, б) после излагања аеросолима NaCl при протоку $30 \text{ dm}^3/\text{min}$, и в) после излагања аеросолима NaCl при протоку $95 \text{ dm}^3/\text{min}$.

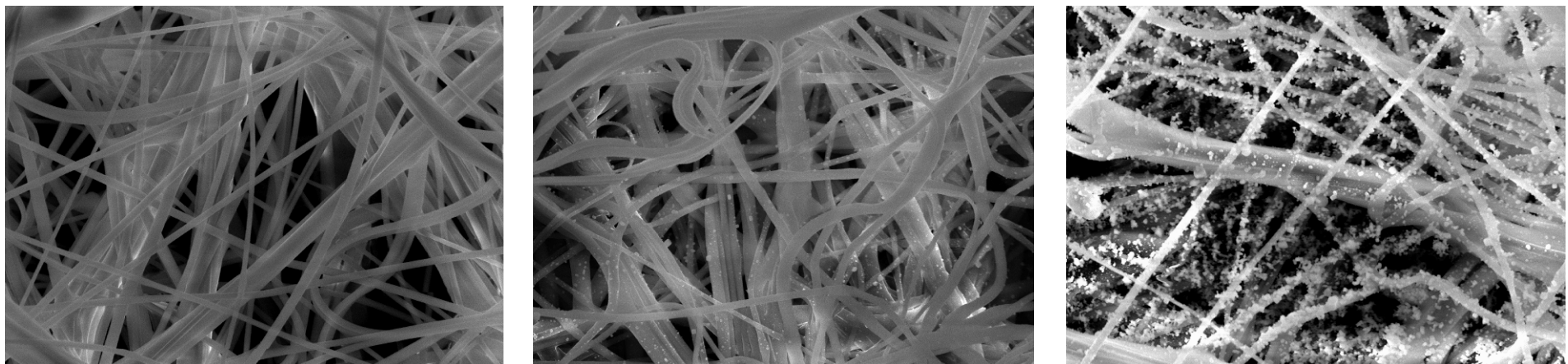


а)

б)

в)

Слика 53. СЕМ слике филтрирајућег материјала уграђеног у модел EM2 филтрирајућих полумаски (увећање 1000x): а) чист филтрирајући материјал (у горњем десном углу приказано влакно са наночестицама сребра (увећање 2500x)), б) после излагања аеросолима NaCl при протоку $30 \text{ dm}^3/\text{min}$, и в) после излагања аеросолима NaCl при протоку $95 \text{ dm}^3/\text{min}$.

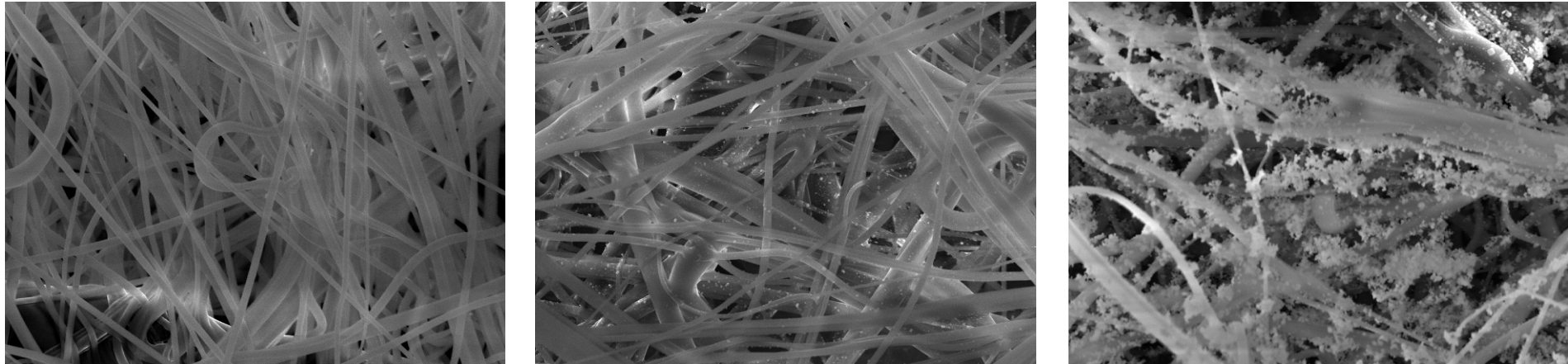


а)

б)

в)

Слика 54. СЕМ слике филтрирајућег материјала уграђеног у модел XM1 филтрирајућих полумаски (увећање 1000x): а) чист филтрирајући материјал, б) после излагања аеросолима NaCl при протоку $30 \text{ dm}^3/\text{min}$, и в) после излагања аеросолима NaCl при протоку $95 \text{ dm}^3/\text{min}$.

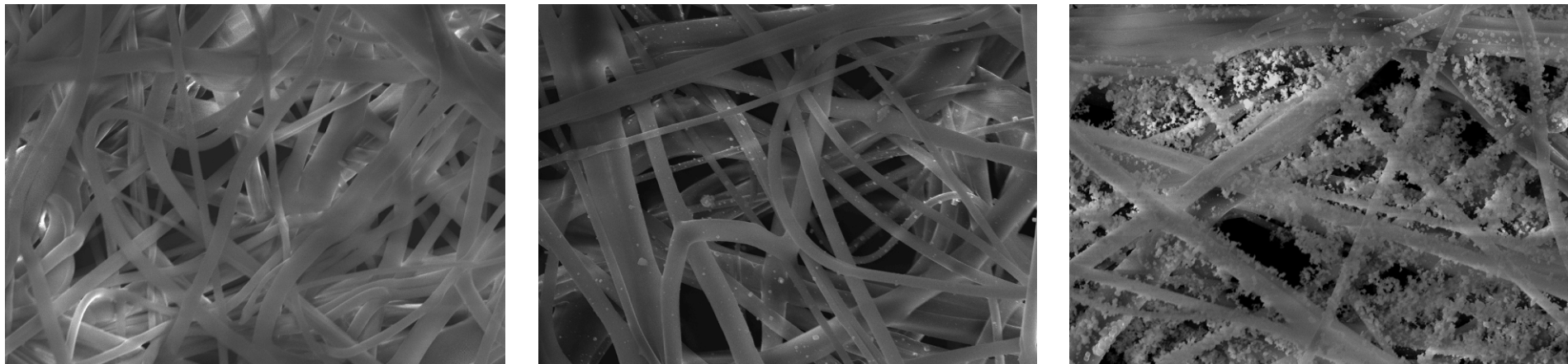


а)

б)

в)

Слика 55. СЕМ слике филтрирајућег материјала уграђеног у модел XM2 филтрирајућих полумаски (увећање 1000x): а) чист филтрирајући материјал, б) после излагања аеросолима NaCl при протоку $30 \text{ dm}^3/\text{min}$, и в) после излагања аеросолима NaCl при протоку $95 \text{ dm}^3/\text{min}$.



а)

б)

в)

Слика 56. СЕМ слике филтрирајућег материјала уграђеног у модел XM3 филтрирајућих полумаски (увећање 1000x): а) чист филтрирајући материјал, б) после излагања аеросолима NaCl при протоку $30 \text{ dm}^3/\text{min}$, и в) после излагања аеросолима NaCl при протоку $95 \text{ dm}^3/\text{min}$.

Са слика се може уочити следеће:

- утицај структурних филтрирајућих карактеристика филтрирајућих материјала уграђених у испитиваним моделима на промене ефикасности филтрирања и отпора протоку аеросола,

- утицај времена трајања процеса филтрирања на промене структурних филтрирајућих карактеристика уграђених филтрирајућих материјала, а самим тим и директан утицај на промене њихове ефикасности филтрирања и отпора протоку аеросола.

Посматрајући комплетно испитивање, различити протоци аеросола узрокују различите промене у филтрирајућим карактеристикама филтрирајућих материјала које су код филтрирајућих полумаски више изражене него код комбинованих филтара, а СЕМ снимци филтрирајућих материјала испитиваних средстава у потпуности потврђују запажања и закључке добијене на основу резултата извршених експерименталних испитивања.

Може се запазити да су разлике у структурним филтрирајућим карактеристикама филтрирајућих материјала свих испитиваних модела заштитних средстава више изражене при већим протоцима испитног агенса, што наводи на закључак да је за темељну потврду квалитативних карактеристика било које врсте филтрирајућих медијума уграђених у заштитне маске и филтрирајуће полумаске неопходно вршити истовремено испитивање ефикасности филтрирања и промене отпора филтрирајућег материјала у зависности од времена филтрирања и обавезно при различитим протоцима.

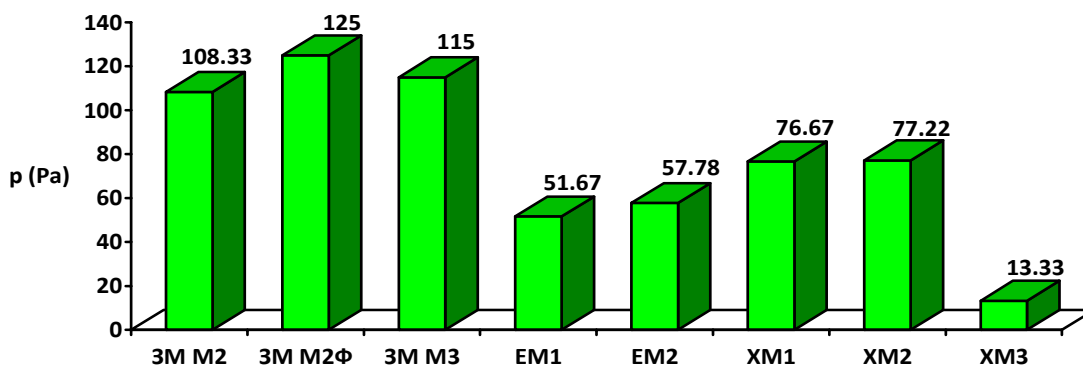
Сходно свим претходно наведеним чињеницама, може се запазити да су филтрирајући материјали у комбинованим филтрима ефикаснији и конструкционо и структурно квалитетнији у односу оне уграђене у моделе филтрирајућих полумаски. Међу моделима комбинованих филтара квалитетом се истичу модели КФ М2Ф и КФ М3, а међу моделима филтрирајућих полумаски модели ХМ1 и ХМ2.

6.2. Дискусија резултата испитивања физиолошке подобности средстава респираторне заштите

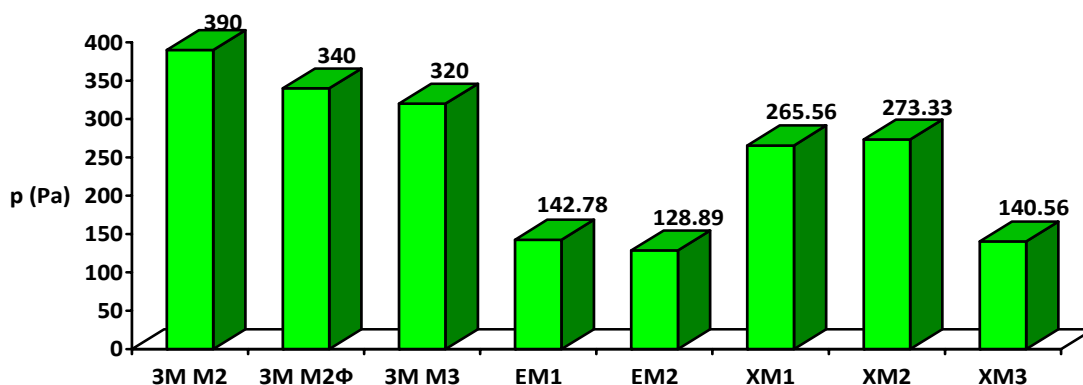
Дискусијом резултата испитивања физиолошке подобности средстава респираторне заштите су обухваћени резултати испитивања отпора средстава респираторне заштите при удисању и испитивања отпора комбинованог филтра при удисању.

6.2.1. Дискусија резултата испитивања отпора средстава респираторне заштите

Аритметичка средина резултата испитивања отпора при удисању филтрирајућих полумаски и целокупног модела заштитних маски при протоку ваздуха од $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ и $95 \text{ dm}^3/\text{min}$ дати су на Сликама 57. и 58.



Слика 57. Просечне вредности резултата испитивања отпора при удисању филтрирајућих полумаски и целокупног модела заштитних маски при протоку ваздуха од $30 \text{ dm}^3/\text{min}$



Слика 58. Просечне вредности резултата испитивања отпора при удисању филтрирајућих полумаски и целокупног модела заштитних маски при протоку ваздуха од $95 \text{ dm}^3/\text{min}$

Аритметичке средине вредности отпора при удисању свих узорака целокупног модела заштитних маски су значајно веће у односу на вредности отпора код модела филтрирајућих полумаски (при протоку ваздуха од $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ и $95 \text{ dm}^3/\text{min}$). При мањем протоку може се запазити да су вредности отпора свих модела заштитних маски знатно веће у односу на вредности отпора филтрирајућих полумаски, посебно у односу на модел XM3 чије су вредности отпора знатно мање и у односу на све остале моделе филтрирајућих полумаски. При већем протоку, разлике у вредностима су мање изражене, па се може запазити да су вредности отпора свих модела заштитних маски

незнатно веће у односу на вредности отпора филтрирајућих полумаски, посебно не у односу на вредности отпора XM1 и XM2 који се издвајају од осталих филтрирајућих полумаски, а вредности отпора модела XM3 су врло блиске вредностима отпора модела EM1 и EM2. И стандардне девијације вредности отпора су веће при већем протоку ваздуха.

Пошто се вредности аритметичке средине и стандардне девијације прилично разликују од модела до модела наведених средстава, а посебно између модела заштитних маски и филтрирајућих полумаски, у сврху њиховог поређења вршено је утврђивање постојања статистички значајне различитости између серија резултата добијених испитивањима.

Тестирање нормалне статистичке расподеле резултата добијених експерименталним испитивањима при протоку ваздуха од 30 dm³/min показало је да вредности испитивања подлежу нормалној статистичкој расподели код свих испитиваних модела наведених заштитних средстава, осим код модела EM1 и EM2 (Табела 24.).

Табела 24. Резултати тестирања нормалне статистичке расподеле резултата при протоку ваздуха од 30 dm³/min *Shapiro-Wilk* тестом са статистичком значајношћу на нивоу вероватноће од 0,05

	ЗМ M2	ЗМ M2Ф	ЗМ M3	EM1	EM2	XM1	XM2	XM3
Sig.	0,637	1,000	1,000	<u>0,000</u>	<u>0,000</u>	0,132	0,208	0,055

Тестирање нормалне статистичке расподеле резултата добијених експерименталним испитивањима при протоку ваздуха од 95 dm³/min показало је да вредности испитивања код свих испитиваних модела заштитних маски подлежу нормалној статистичкој расподели, док код свих модела филтрирајућих полумаски не подлежу (Табела 25.).

Табела 25. Резултати тестирања нормалне статистичке расподеле резултата при протоку ваздуха од 95 dm³/min *Shapiro-Wilk* тестом са статистичком значајношћу на нивоу вероватноће од 0,05

	ЗМ M2	ЗМ M2Ф	ЗМ M3	EM1	EM2	XM1	XM2	XM3
Sig.	1,000	1,000	1,000	<u>0,000</u>	<u>0,025</u>	<u>0,012</u>	<u>0,005</u>	<u>0,012</u>

Сходно овом, вредности испитивања које подлежу нормалној статистичкој расподели су даље тестиране *One-Way ANOVA* тестом, а вредности испитивања које немају нормалну расподелу *Kruskal-Wallis* тестом. Потом су вршена вишеструка поређења. У Табелама 26. и 27. су приказани резултати наведених тестирања.

Табела 26. Резултати тестирања постојања статистички значајне различитости између серија резултата добијених испитивањима при протоку ваздуха од 30 dm³/min (на нивоу вероватноће од 0,05)

Ознака испитног модела	ЗМ М2	ЗМ М2Ф	ЗМ М3	ЕМ1	ЕМ2	ХМ1	ХМ2	ХМ3
ЗМ М2	-	0,003	<u>1,000</u>	0,044	0,042	0,000	0,000	0,000
ЗМ М2Ф		-	<u>0,244</u>	0,007	0,009	0,000	0,000	0,000
ЗМ М3			-	0,024	0,026	0,000	0,000	0,000
ЕМ1				-	<u>1,000</u>	<u>0,106</u>	<u>0,072</u>	0,000
ЕМ2					-	<u>1,000</u>	<u>1,000</u>	0,029
ХМ1						-	<u>1,000</u>	0,000
ХМ2							-	0,000
ХМ3								-

Табела 27. Резултати тестирања постојања статистички значајне различитости између серија резултата добијених испитивањима при протоку ваздуха од 95 dm³/min (на нивоу вероватноће од 0,05)

Ознака испитног модела	ЗМ М2	ЗМ М2Ф	ЗМ М3	ЕМ1	ЕМ2	ХМ1	ХМ2	ХМ3
ЗМ М2	-	0,003	0,000	0,006	0,000	<u>1,000</u>	<u>1,000</u>	0,014
ЗМ М2Ф		-	<u>0,149</u>	0,005	0,000	<u>1,000</u>	<u>1,000</u>	0,021
ЗМ М3			-	0,007	0,002	<u>1,000</u>	<u>1,000</u>	0,025
ЕМ1				-	<u>1,000</u>	0,046	0,049	<u>1,000</u>
ЕМ2					-	0,004	0,000	<u>1,000</u>
ХМ1						-	<u>1,000</u>	0,045
ХМ2							-	0,048
ХМ3								-

Резултати испитивања заштитних маски показују да модел ЗМ М2 у односу на све остале моделе показује најмањи отпор при протоку 30 dm³/min, а највећи отпор при протоку 95 dm³/min. То указује да уграђени филтрирајући материјали комбинованог филтра код овог модела има најмању густину паковања. Резултати испитивања модела заштитних маски М2Ф и М3 при оба протока показују да уграђени филтрирајући материјали њихових комбинованих филтара имају врло сличне густине паковања, с тим што је густина паковања незнатно мања код модела КФ М3.

Резултати испитивања филтрирајућих полумаски показују да при протоку 30 dm³/min нема статистички значајне разлике између серија резултата отпора модела ЕМ1, ЕМ2, ХМ1 и ХМ2, што указује на то да су њихови уграђени филтрирајући

материјали сличних структурних карактеристика. Међутим, када се сагледа да су ЕМ1 и ЕМ2 четворослојне филтрирајуће полумаске, а модели ХМ1 и ХМ2 трослојне филтрирајуће полумаске, може се закључити да заправо постоји велика разлика између структурних карактеристика уграђених филтрирајућих материјала. Код модела ХМ1 и ХМ2 је знатно већа густина паковања у односу на моделе ЕМ1 и ЕМ2. Ову констатацију потврђују резултати испитивања при протоку од $95 \text{ dm}^3/\text{min}$.

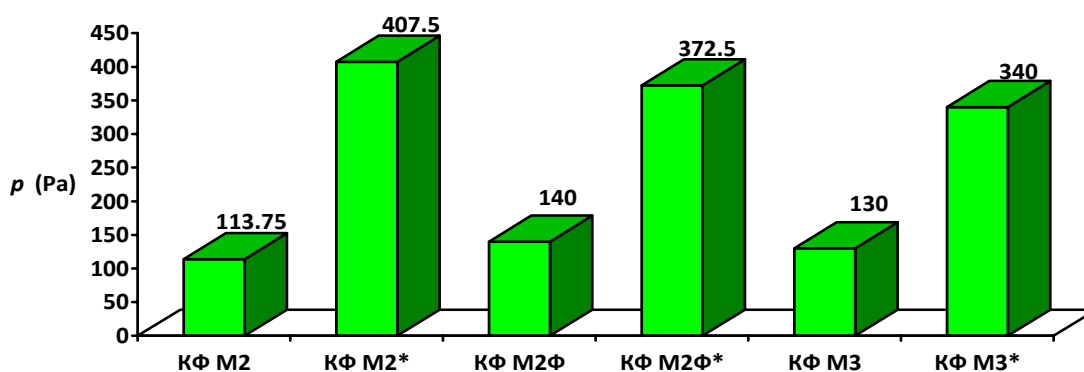
При протоку од $95 \text{ dm}^3/\text{min}$ резултати испитивања показују да нема статистички значајне разлике између серија резултата отпора модела ЕМ1, ЕМ2 и ХМ3, што указује на то да су њихови уграђени филтрирајући материјали сличних структурних карактеристика. Међутим, када се сагледа да су ЕМ1 и ЕМ2 четворослојне филтрирајуће полумаске, а модел ХМ3 трослојна филтрирајућа полумаска, може се закључити да заправо постоји велика разлика између структурних карактеристика уграђених филтрирајућих материјала. Код модела ЕМ1 и ЕМ2 је знатно већа густина паковања у односу на модел ХМ3. Ову констатацију потврђују резултати испитивања при протоку од $30 \text{ dm}^3/\text{min}$. Посматрано уопштено, уграђени филтрирајући материјали код модела ХМ3 има најмању густину паковања у односу на све испитиване моделе.

Када се упореде резултати испитивања свих испитиваних модела, за очекивати је да су вредности отпора при удисању целокупног модела заштитних маски значајно веће у односу на вредности отпора код модела филтрирајућих полумаски, јер долазе до изражаја утицај обрине заштитне маске и утицај величине активне филтрирајуће површине, која је много већа код модела комбинованих филтара (око 100 пута), а постиже се плисирањем уграђеног филтрирајућег материјала.

Мање изражене разлике у вредностима отпора при већем протоку ваздуха (приметно у односу свих модела заштитних маски и модела ХМ1 и ХМ2, као и у односу модела ХМ3 и модела ЕМ1 и ЕМ2) могу се објаснити тиме што се повећањем брзине струјања ваздуха јавља већи потпритисак услед већег протока кроз малу филтрирајућу површину филтрирајуће полумаске, због чега се влакна филтрирајућег материјала збијају, што изазива смањење пора између влакана и релативно повећање активне филтрирајуће површине у односу на запремину ваздуха који протиче, те резултира повећањем отпора. Из наведеног се може закључити и да је ова појава израженија код филтрирајућих материјала са мањом густином паковања, односно да испољавање утицаја ове појаве зависи првенствено од структурних карактеристика филтрирајућих материјала.

6.2.2. Дискусија резултата испитивања отпора комбинованог филтра

При испитивању отпора заштитних маски при удисању засебно се испитује комбиновани филтар, јер при отпору целокупног средства струји ваздуха у фази удисања, много већи део припада отпору комбинованог филтра у односу на отпор образине. Аритметичка средина резултата испитивања отпора комбинованих филтара при удисању при протоку ваздуха од $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ и $95 \text{ dm}^3/\text{min}$ дати су на Слици 59.



Слика 59. Просечне вредности резултата испитивања отпора при удисању комбинованих филтара при протоку ваздуха од $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ и $95 \text{ dm}^3/\text{min}$ (вредности означене са *)

Аритметичке средине вредности отпора комбинованих филтара при удисању при протоку ваздуха од $95 \text{ dm}^3/\text{min}$ код свих модела су прилично веће у односу на аритметичке средине вредности отпора при протоку од $30 \text{ dm}^3/\text{min}$. И стандардне девијације вредности отпора су веће при већем протоку ваздуха.

Пошто се вредности аритметичке средине и стандардне девијације између модела прилично разликују, у сврху њиховог поређења вршено је утврђивање постојања статистички значајне различитости између серија резултата добијених испитивањима.

Тестирање нормалне статистичке расподеле резултата добијених експерименталним испитивањима при протоку ваздуха од $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ и $95 \text{ dm}^3/\text{min}$ показало је да вредности испитивања подлежу нормалној статистичкој расподели код свих испитиваних модела наведених заштитних средстава (Табела 28.).

Табела 28. Резултати тестирања нормалне статистичке расподеле резултата при протоку ваздуха од $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ и $95 \text{ dm}^3/\text{min}$ *Shapiro-Wilk* тестом са статистичком значајношћу на нивоу вероватноће од 0,05

Проток	ЗМ М2		ЗМ М2Ф		ЗМ М3	
	$30 \text{ dm}^3/\text{min}$	$95 \text{ dm}^3/\text{min}$	$30 \text{ dm}^3/\text{min}$	$95 \text{ dm}^3/\text{min}$	$30 \text{ dm}^3/\text{min}$	$95 \text{ dm}^3/\text{min}$
Sig.	0,683	0,406	0,683	0,272	0,272	0,683

Сходно овом, вредности испитивања су даље тестиране *One-Way ANOVA* тестом, а потом су вршена вишеструка поређења. У Табели 29. су приказани резултати наведених тестирања.

Табела 29. Резултати тестирања постојања статистички значајне различитости између серија резултата добијених испитивањима при протоку ваздуха од 30 dm³/min и 95 dm³/min (на нивоу вероватноће од 0,05)

Ознака испитног модела	КФ М2	КФ М2Ф	КФ М3	КФ М2*	КФ М2Ф*	КФ М3*
КФ М2	-	0,002	0,033			
КФ М2Ф		-	<u>0,245</u>			
КФ М3			-			
КФ М2*				-	0,003	0,000
КФ М2Ф*					-	0,005
КФ М3*						-

При протоку 30 dm³/min тестови су показали да се резултати добијени испитивањима КФ М2 значајно статистички разликују у односу на КФ М2Ф и КФ М3, док се отпори модела КФ М2 и КФ М2Ф статистички значајно не разликују. Најмањи отпор пружа модел КФ М2, а највећи модел КФ М2Ф.

При протоку од 95 dm³/min тестови су показали да се резултати испитивања свих модела комбинованих филтара значајно статистички разликују. Најмањи отпор пружа модел КФ М3, док модел КФ М2 пружа највећи отпор.

Из овог се може закључити да уграђени филтрирајући материјали код модела КФ М2 у односу на све остале има најмању густину паковања, али и најмањи капацитет пуњења. Уграђени филтрирајући материјали код модела КФ М2Ф и КФ М3 имају врло сличне структурне филтрирајуће карактеристике, али уграђени филтрирајући материјал код модела КФ М3 има незнатно мању густину паковања и незнатно већи капацитет пуњења, односно већу активну филтрирајућу површину, што показују резултати добијени при већем испитном протоку. Претходно наведено је у корелацији са дискусијом резултата испитивања отпора средстава респираторне заштите при удисању.

ЗАКЉУЧАК

Контаминација биолошким агенсима и токсинима представља стално присутну претњу по људско здравље и животну средину, а изузетно висока патогеност, инфективност и токсичност, притајен инкубациони период, висок ниво трансмисивности, као и значајни проблеми који је прате, ову врсту опасности подижу на највећи могући ниво.

Ширење заразних болести изазваних биолошким агенсима и токсинима одвија се свим путевима преношења заразних болести, од којих је најчешће преношење кроз ваздух у виду аеросола, пошто се микроорганизми најуспешније крећу кроз ваздух и најбрже улазе у људски организам путем дисајних органа. Сходно томе, заштита људског здравља се постиже применом и мера респираторне заштите, које представљају једне од основних мера превентиве од заразних болести.

На индивидуалном нивоу заштита дисајних органа се остварује ношењем различитих типова средстава респираторне заштите филтрирајућег типа. У Војсци Србије се користи заштитна маска као формацијско средство личне респираторне заштите, док се за заштиту цивилне популације користе разне врсте средстава респираторне заштите, од којих су најчешће филтрирајуће полумаске. Пошто су ефикасност заштите и физиолошка погодност кључни параметри које ова средства треба да обезбеде у случају контаминације биоагенсима и токсинима, за њихову поуздану процену су вршена испитивања пропуштања аеросола контаминанта према унутрашњости заштитних средстава, ефикасности и динамике филтрирања аеросола контаминанта кроз филтрирајући медијум и отпора средства при удисању.

На основу извршених експерименталних испитивања узорака модела заштитних маски (ЗМ) и филтрирајућих полумаски (ФФ) могу се извести следећи закључци:

1. Испитивањем пропуштања аеросола контаминанта према унутрашњости је установљено да:

- сви испитивани модели ФФ и образаина ЗМ испуњавају најстрожије критеријуме дефинисане стандардима за ове врсте заштитних средстава и сви модели наведених средстава су врхунског квалитета израде,

- вредности пропуштања образаина ЗМ су много мање у односу на вредности пропуштања модела ФФ (у просеку од 100 до преко 2000 пута) и постоји статистички значајна разлика између њихових серија резултата,

- по конструкцијском основу (величинске димензије, налагање средства на лице корисника), у односу на стандардом задату антропометријску матрицу, образине свих модела ЗМ изузетно одговарају распону антропометријских димензија наше популације становништва,

- модел ХМ1 се издваја од свих ФФ пошто између резултата испитивања свих модела образине ЗМ и модела ХМ1 не постоји статистички значајна разлика, што указује на веома висок квалитет конструкције и израде овог модела.

На основу субјективних запажања испитаника закључено је следеће:

- током тестирања су одређена критична места која најнеповољније утичу на вредност пропуштања код ФФ - подручје где се метална трака причвршћује за нос корисника и подручје где средство покрива браду корисника (одређује конструкцијску плиткост средства),

- од свих испитиваних средстава, најбоље налагање на лице корисника имају образине ЗМ,

- међу ФФ најбоље налагање на лице имају модели ХМ1 и ЕМ2, док најнеповољније налажу модели ХМ3 и ЕМ1,

- већи комфор при употреби омогућавају ФФ, а међу њима највећи комфор обезбеђује модел ХМ1.

2. Испитивањем ефикасности филтрирања аеросола филтрирајућим медијумима је установљено да:

- вредности пропуштања кроз филтрирајући медијум при протоцима испитног аеросола од $95 \text{ dm}^3/\text{min}$ и $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ код свих модела КФ су много мање у односу на границу најстрожијег критеријума за пропуштање код ове врсте заштитних средстава тако да сви испитивани модели спадају у најефикаснију Р3 класу,

- вредности пропуштања при протоцима испитног аеросола од $95 \text{ dm}^3/\text{min}$ и $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ код свих модела ФФ, изузев модела ХМ3, су испод границе најстрожег критеријума за пропуштање код ове врсте заштитних средстава, тако да модел ХМ3 спада у FFP2 класу, а сви остали модели у најефикаснију FFP3 класу,

- претходне две чињенице указују на то да су у свим моделима наведених средстава изузев модела ХМ3 уграђени филтрирајући материјали врхунског квалитета,

- при оба протока вредности пропуштања модела КФ су много мање у односу на вредности пропуштања модела ФФ, што се може објаснити великом активном филтрирајућом површином уграђеног филтрирајућег материјала у релативно малој запремини КФ (око 1000 cm^2) која се постиже плисирањем, за разлику од

филтрирајућих материјала уграђених у ФФ који нису плисирани (активна филтрирајућа површина је око десет пута мања (око 100 cm^2)),

- за разлику од модела КФ, код модела ФФ је приметна велика разлика у вредностима пропуштања, толико да су вредности пропуштања код модела ХМ1 и ХМ2 при оба испитна протока знатно мање (7 до 10 пута) у односу на вредности пропуштања осталих модела ФФ, па се може закључити да су филтрирајући материјали уграђени у моделе ХМ1 и ХМ2 бољег квалитета у односу на остале моделе,

- испитивањем при протоку од $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ утврђено је да постоји значајна статистичка разлика између свих серија резултата испитивања осим између свих модела КФ, као и између модела ЕМ1, ЕМ2 и ХМ3, док је испитивањем при протоку од $95 \text{ dm}^3/\text{min}$ утврђено да постоји значајна статистичка разлика између свих серија резултата испитивања, осим између модела КФ М2 и КФ М3, између модела КФ М2Ф и КФ М3, и између модела ХМ1 и ХМ2,

- може се закључити да ефикасност филтрирања код модела КФ зависи, како од конструкционих, тако и од структурних карактеристика уграђених филтрирајућих материјала, док ефикасност филтрирања код модела ФФ зависи првенствено од структурних особина уграђених филтрирајућих материјала (пошто у овом случају нема плисирања),

- може се закључити да при мањим испитним протоцима уграђени филтрирајући материјали код свих модела КФ и ФФ показују униформније карактеристике, односно мање разлике у конструкционим и структурним карактеристикама,

- вредности пропуштања кроз филтрирајући медијум код свих модела КФ су знатно више при већем протоку (од 2 пута код модела КФ М2, до скоро 6 пута код модела КФ М3), док су вредности пропуштања код свих модела ФФ ниже при већем протоку (у просеку од малог повећања (око 10 %) код модела ХМ3 до преко 2,5 пута код модела ХМ1) - наведена појава код модела КФ је у сагласности са теоријом филтрирања фино дисперзних субмикронских честица, јер се при повећању брзине ваздушне струје повећава продирање аеросола услед смањења ефикасност таложења по механизму дифузије, док се наведена појава повећања ефикасност филтрирања код модела ФФ са повећањем запреминског протока аеросола може објаснити преко релативног повећања активне филтрирајуће површине ФФ насталог услед већег потпритиска узрокованог повећањем брзине струјања аеросола кроз малу филтрирајућу површину ФФ и самим тим повећањем таложења честица по механизму дифузије.

3. Испитивањем динамике филтрирања аеросола филтрирајућим медијумима је установљено да:

- модел КФ М2 има најмању густину паковања и најмањи капацитет пуњења, јер у односу на остале моделе КФ показује највеће пропуштање и највећу промену отпора,

- уграђени филтрирајући материјали код модела КФ М2Ф и КФ М3 имају врло сличне структурне филтрирајуће карактеристике, с тим да уграђени филтрирајући материјал код модела КФ М3 има незнатно мању густину паковања и незнатно већи капацитет пуњења, при чему се утицај ових карактеристика се израженије испољава при већем протоку испитног аеросола,

- уграђени филтрирајући материјали код модела ЕМ1 и ЕМ2, односно код модела ХМ1 и ХМ2, такође имају врло сличне структурне филтрирајуће карактеристике,

- у односу на модел ЕМ1, уграђени филтрирајући материјал код модела ЕМ2 има незнатно мању густину паковања и незнатно већи капацитет пуњења, што се може објаснити присуством једног слоја основног филтрирајућег материјала импрегнисаног наночестицама сребра које имају позитиван поларитет, тако да све супротно наелектрисане честице хватају у своју потенцијалну јаму, чиме се постиже већа активност основног филтрирајућег материјала - ово потврђује експериментални резултат где после дужег временског излагања испитном аеросолу модел ЕМ2 обезбеђује мање пропуштање уз мањи отпор у односу на модел ЕМ1,

- иако су модели ЕМ1 и ЕМ2 четворослојне филтрирајуће полумаске, а модели ХМ1 и ХМ2 трослојне филтрирајуће полумаске, модели ХМ1 и ХМ2 имају знатно већу густину паковања и релативно мањи капацитет пуњења од модела ЕМ1 и ЕМ2, јер показују мање вредности пропуштања, као и веће промене пропуштања и пораста отпора,

- модел ХМ3 (такође трослојан модел) има најмању густину паковања, као и најмањи капацитет пуњења, јер у односу на све остале моделе показује највеће пропуштање и највећу промену отпора,

- посматрајући у целини, постоје изузетно велике разлике између модела КФ и модела ФФ у динамици промена пропуштања и отпора у зависности од времена, што јасно указује на изразит утицај величине активне филтрирајуће површине - због много мање активне филтрирајуће површине, капацитет пуњења модела ФФ је много мањи, те за исто време постижу много веће промене отпора уз мања смањења пропуштања, што је најизраженије када се посматрају вредности пропуштања и отпора модела ХМ1 и ХМ2, као и модела КФ М2Ф и КФ М3,

- промене у филтрирајућим карактеристикама филтрирајућих материјала услед различитих протока аеросола су израженије код модела ФФ у односу на моделе КФ, што показују СЕМ прикази филтрирајућих материјала испитиваних модела заштитних средстава који су у потпуности у складу са претходно изнесеним закључцима,

- филтрирајући материјали свих испитиваних модела заштитних средстава изразитије показују разлике у структурним филтрирајућим карактеристикама при већим протоцима испитног агенса, а униформније карактеристике при мањим, као и при испитивању ефикасности филтрирања при различитим протоцима.

4. Испитивањем физиолошке подобности средстава респираторне заштите преко отпора средства при удисању је установљено да:

- вредности отпора при удисању при оба испитна протока код свих узорака целокупног модела ЗМ су знатно веће у односу на вредности отпора код модела ФФ, што се може објаснити као последица утицаја обрине ЗМ и утицаја веће активне филтрирајуће површине уграђеног филтрирајућег материјала у КФ,

- при мањем протоку, вредности отпора свих модела ЗМ су знатно веће у односу на вредности отпора ФФ, док су при већем протоку разлике у вредностима мање изражене (вредности отпора свих модела ЗМ су мало веће у односу на вредности отпора ХМ1 и ХМ2, а вредности отпора модела ХМ3 су врло блиске вредностима отпора модела ЕМ1 и ЕМ2),

- смањење разлика у отпорима се може објаснити смањењем пора између влакана и релативним повећањем активне филтрирајуће површине филтрирајућег материјала ФФ у односу на запремину ваздуха који протиче, насталим услед већег потпритиска узрокованог повећањем брзине струјања аеросола кроз малу филтрирајућу површину – описана појава је израженија код филтрирајућих материјала са мањом густином паковања, односно зависи директно од структурних карактеристика уграђених филтрирајућих материјала,

- резултати испитивања заштитних маски показују да уграђени филтрирајући материјал комбинованог филтра модела ЗМ М2 има најмању густину паковања, али и најмањи капацитет пуњења, јер у односу на све остале моделе показује најмањи отпор при протоку $30 \text{ dm}^3/\text{min}$, а највећи отпор при протоку $95 \text{ dm}^3/\text{min}$, док уграђени филтрирајући материјали комбинованих филтара ЗМ М2Ф и ЗМ М3 имају врло сличне густине паковања, с тим што је мало већи капацитет пуњења филтрирајућег материјала код модела ЗМ М3,

- постоји велика разлика између структурних карактеристика уграђених филтрирајућих материјала код модела ФФ - код модела ХМ1 и ХМ2 је највећа густина паковања (трослојни модели, а дају највеће вредности отпора), потом следе модели ЕМ1 и ЕМ2 (четворослојни модели са средњим вредностима отпора), док је код модела ХМ3 најмања густина паковања филтрирајућег материјала (трослојни модел са великом разликом вредности отпора при различитим протоцима ваздуха).

У складу са свим претходно изнесеним чињеницама установљеним при испитивању ефикасности заштите и физиолошке подобности средстава респираторне заштите може се закључити:

- сви испитивани модели обрзина ЗМ, комбинованих филтара и ФФ (изузев модела ХМ3) су врхунског квалитета израде и испуњавају најстроже критеријуме ефикасности заштите дефинисане стандардима за ове врсте заштитних средстава, тако да представљају високо ефикасна средства заштите у случају излагања корисника контаминацији биолошким агенсима путем дисајних органа,

- сходно резултатима испитивања и субјективним запажањима испитаника, по конструкцијском основу (величинске димензије, налагање средства на лице корисника) обрзине свих модела ЗМ и модел филтрирајуће полумаске ХМ1 изузетно одговарају распону антропометријских димензија наше популације становништва,

- према конструкционим и структурним особинама, у испитиваним моделима КФ су уграђени ефикаснији филтрирајући материјали и бољег квалитета у односу на филтрирајуће материјале уграђене у испитиване моделе ФФ, при чему се међу КФ истичу модели КФ М2Ф и КФ М3, а међу ФФ модели ХМ1 и ХМ2,

- већу физиолошку подобност при употреби омогућавају ФФ, јер вредности отпора при удисању при оба испитна протока код свих узорака целокупног модела ЗМ су знатно веће у односу на вредности отпора код модела ФФ,

- иако резултати испитивања показују да уграђени филтрирајући материјали код модела КФ М2Ф, КФ М3, ХМ1 и ХМ2 имају највећу густину паковања (дају највеће вредности отпора у својим групама), према субјективним запажањима испитаника од модела ЗМ највећи комфор обезбеђује модел ЗМ М3, а од модела ФФ модел ХМ1,

- за темељну потврду квалитативних карактеристика било које врсте филтрирајућих медијума уграђених у ЗМ и ФФ, неопходно је при различитим протоцима испитног аеросола вршити истовремено испитивање ефикасности филтрирања и промене отпора филтрирајућег материјала у зависности од времена филтрирања,

- утврђено је да структурне карактеристике уграђених филтрирајућих материјала директно утичу да при већем протоку ваздуха разлике у вредностима отпора модела ЗМ буду мање изражене у односу на вредности отпора ФФ, односно да се код модела ФФ са филтрирајућим материјалима мање густине паковања смањује комфор због повећања отпора при повећању протока ваздуха.

У целини узев, употребом средстава респираторне заштите типа заштитна маска и филтрирајућа полумаска у случају контаминације биолошким агенсима путем дисајних органа, могуће је обезбедити ефикасну заштиту свих припадника МО и ВС, уз истовремену њихову функционалну способност за извршење наменских задатака.

Иако модели заштитних маски обезбеђују знатно већу ефикасност заштите, филтрирајућа полумаска је ефикаснија у погледу спречавања ширења заразе у војној или било којој средини, јер врши филтрирање ваздуха у оба смера – и издахнутог и удахнутог. Због малог отпора при удисању, филтрирајућа полумаска је физиолошки погоднија за употребу у односу на формацијске заштитне маске, што може позитивно да утиче и на оперативност војних лица, посебно када је реч о мирнодопским и неборбеним условима и дужем времену ношења заштитних средстава.

На основу свега наведеног се предлаже усвајање нових правилских одредби по питању коришћења средстава респираторне заштите у МО и ВС, којима би се уз употребу формацијске заштитне маске дефинисала употреба и филтрирајућих полумаски, што би представљало значајан допринос унапређењу личне респираторне заштите припадника МО и ВС у условима контаминације биолошким агенсима.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Kamps BS, Reyes-Terán G. Influenza 2006, In: Kamps BS, Hoffmann C, Preiser W: Influenza Report 2006, Flying Publisher, Paris, 2006, 17–47.
- [2] Webster RG, Govorkova EA. H5N1 influenza – continuing evolution and spread. New England Journal of Medicine 2006; 335: 2174–2177.
- [3] Webster RG, Walker EJ. Influenza: The world is teetering on the edge of a pandemic that could kill a large fraction of the human population. American Scientist 2003; 91:122-129.
- [4] Fouchier RA, Rimmelzwaan GF, Kuiken T, Osterhaus AD. Newer respiratory virus infections: human metapneumovirus, avian influenza virus, and human coronaviruses. Current Opinion in Infectious Diseases 2005; 18: 141-146.
- [5] White OD, Fenner FJ. Medical Virology. 4th ed., Academic Press, California, 1994.
- [6] Murphy BR, Webster RG. Orthomyxoviruses, In: Fields BN, Knipe DM, et al: Virology. 2nd ed., Raven Press, New York, 1990.
- [7] Tong S, Zhu X, Li Y, Shi M, Zhang J, et al. New World Bats Harbor Diverse Influenza A Viruses. PLOS Pathogens 2013; 9: e1003657.
- [8] Tang JW, Li Y, Eames L, Chan PKS, Ridgway GL. Factors involved in the aerosol transmission of infection and control of ventilation in healthcare premises. Journal of Hospital Infection 2006; 64: 100-114.
- [9] Mims CA, White DO. Viral pathogenesis and Immunology, Blackwell, Oxford, 1984.
- [10] Wright PF, Webster RG, In: Orthomyxoviruses, Fields virology. 4th ed., Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, 2001.
- [11] Fabian P, McDevitt JJ, DeHaan WH, Fung ROP, Cowling BJ, Chan KH, et al. Influenza virus in human exhaled breath: An observational study. PLOS ONE 2008; 3: e2691.
- [12] Tang JW, Liebner TJ, Craven BA, Settles GS. A schlieren optical study of the human cough with and without wearing masks for aerosol infection control. Journal of The Royal Society Interface 2009; 6: 727–736.
- [13] Tyrrell DAJ. How do viruses invade mucous surfaces, Philosophical Transactions of The Royal Society of London B Biological Sciences 1983; 303: 75-84.
- [14] Heyder J, Gebhart J, Rudolf G, Schiller CF, Stahlhofen W. Deposition of particles in the human respiratory track in the size range of 0.005-15 μm . Journal of Aerosol Science 1986; 17: 811-825.

- [15] Convention on the prohibition of the development, production and stockpiling of bacteriological (biological) and toxin weapons and on their destruction. Status of multilateral arms regulation and disarmament agreements. Supplement to the United Nations disarmament yearbook, volume II:1977. United Nations, New York, 1978.
- [16] Regulation 428/2009, Annex I - List of controlled dual-use items, Official Journal of the European Union, 2009, L 134, 77-80.
- [17] Klein L, Merka V. Biological terrorism, *Revue Internationale des Services de Sante des Forces Armées* 2001; 74: 46-48.
- [18] Чобељић М. Биолошки тероризам. Гласник Завода за заштиту здравља Србије, Београд, 2001.
- [19] Dennis C. The bugs of the war. *Nature* 2001; 411:232-35.
- [20] Рајић Д. Нуклеарна, хемијска и биолошка борбена средства. Војна академија, Београд, 2012.
- [21] Inglesby TV, Henderson D, Bartlett JG, et al. Anthrax as a biological weapon: medical and public health management, Working Group on Civilian Biodefense. *JAMA* 1999; 281: 1735-1745.
- [22] World Health Organization. WHO global influenza preparedness plan: the role of WHO and recommendations for national measures before and during pandemics (2005). Annex 1. Recommendations for nonpharmaceutical public health interventions.
- [23] World Health Organization. Non-pharmaceutical interventions: their role in reducing transmission and spread (2005).
- [24] World Health Organization. Advice on the use of masks in the community setting in Influenza A (H1N1) outbreaks (2009).
- [25] Jefferson T, Foxlee R, Del Mar C, Dooley L, Ferroni E, Hewak B, et al. Physical interventions to interrupt or reduce the spread of respiratory viruses: systematic review. *British Medical Journal* 2008; 336: 77–80.
- [26] Bridges CB, Kuehnert MJ, Hall CB. Transmission of influenza: implications for control in health care settings. *Clinical Infectious Diseases* 2003; 37: 1094–1101.
- [27] SRPS EN 132:2007. Средства за заштиту органа за дисање – Дефиниције термина и пиктограми. Институт за стандардизацију Србије
- [28] SRPS EN 133:2007. Средства за заштиту органа за дисање – Класификација. Институт за стандардизацију Србије
- [29] SRPS EN 134:2007. Средства за заштиту органа за дисање – Номенклатура компоненти. Институт за стандардизацију Србије

- [30] National Institute for Occupational Safety and Health. NIOSH respirator selection logic. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH). Publication No. 2005-100.
- [31] Occupational Safety and Health Administration. OSHA Technical Manual (OTM), Section VIII: Chapter 2 - Respiratory Protection. United States Department of Labor Occupational Safety and Health Administration. 1999-01-20.
- [32] Alexander JW. The contributions of infection control to a century of surgical progress. *Annals of Surgery* 1985; 201:423–428.
- [33] Chapin CV. The sources and modes of infection. 2nd ed., revised., J. Wiley & Sons, New York, 1912.
- [34] Meade RH. An Introduction to the History of General Surgery. WB Saunders, Philadelphia, 1968.
- [35] Weaver GH. Droplet Infection and its prevention by the face mask. *The Journal of Infectious Diseases* 1919; 24: 218- 230.
- [36] <http://www.gas-masks-from-all-the-world.fr/fr/fr-menu.htm>
- [37] Nesmeyanov AN, Tophiev AV, Kazansky BA, Shuikin NI. To the memory of academician Nikolai Dmitrievich Zelinsky. *Russian Chemical Bulletin* 1953; 2: 683–690.
- [38] Стојановић Б, Јовашевић М. Критички осврт на развој хемијског оружја и средстава за заштиту дисајних органа. *Научно-технички преглед* 1994; 44: 26-37.
- [39] Јовашевић М. Достигнућа и правци развоја средстава за заштиту органа за дисање, *Зборник радова, Крушевац*, 1995.
- [40] Станимировић И, Јовашевић М, Бастић Ј, Луковић З, Савић З. Компаративна анализа средстава АБХО ВЈ и страних армија, ВТИ 06-01.0894, 1995.
- [41] http://gasmaskandrespirator.wikia.com/wiki/U.S._M9/M9A1_Field_Protective_Masks
- [42] Gander TJ. *Jane's NBC Protection Equipment*. 3rd ed., Englewood, Jane's Information Group, USA, 1991.
- [43] http://gasmask.voila.net/service_engl.htm#russia
- [44] Rajic D, Markovic T, Ivankovic N, Ilic M, Senic Z, Vitorovic-Todorovic M. A comparative study of the field of view and the optical properties of oculars of military protective masks. *Scientific Technical Review* 2012; 62: 87-93.
- [45] <http://www.trayal.rs/index.php/sr/>

- [46] McNett EH. The face mask in tuberculosis. How the cheesecloth face mask has been developed as a protective agent in tuberculosis. *American Journal of Nursing* 1949; 49: 32-36.
- [47] Wheeler CA. A study of the nursing care of tuberculosis patients. *American Journal of Nursing* 1938; 38: 1021 -1037.
- [48] Quesnel LB. The efficiency of surgical masks of varying design and composition. *British Journal of Surgery* 1975; 62: 936-940.
- [49] Center for Disease Control and Prevention. Interim Recommendations for Facemask and Respirator Use to Reduce Novel Influenza A (H1N1) Virus Transmission. Centers for Disease Control and Prevention. May 27, 2009.
- [50] Kowalski WJ, Bahnfleth W. Airborne respiratory diseases and mechanical systems for control of microbes. *HPAC Engineering* 1998; 70: 34-48.
- [51] Kosmider K, Scott J. Polymeric Nanofibers exhibit an enhanced air filtration performance. *Filtration+Separation* 2002; 39: 20-22.
- [52] Takahashi Y, Tatsuma T. Electrodeposition of thermally stable gold and silver nanoparticle ensembles through a thin alumina nanomask. *Nanoscale* 2010; 2: 1494-1499.
- [53] Xiang DX, Chen Q, Pang L, Zheng CL. Inhibitory effects of silver nanoparticles on H1N1 influenza A virus in vitro. *Journal of Virological Methods* 2011; 178: 137-142.
- [54] MacIntyre CR, Cauchemez S, Dwyer DE, Seale H, Cheung P, Browne G, et al. Face mask use and control of respiratory virus transmission in households. *Emerging Infectious Diseases* 2009; 15: 233–241.
- [55] Bell D, Nicoll A, Fukuda K, et al. Nonpharmaceutical Interventions for Pandemic Influenza, National and Community Measures, World Health Organization Writing Group. *Emerging Infectious Diseases* 2006; 12: 88-94.
- [56] Center for Disease Control and Prevention. Guidelines for Preventing the Transmission of Mycobacterium tuberculosis in Health-Care Settings. *Morbidity and mortality weekly report*. 2005; 54 (No. RR-17).
- [57] National Health and Medical Research Council. Australian Government. Australian guideline for the Prevention and Control of Infection in Healthcare. 2010.
- [58] Health Protection Agency UK. SARS - hospital infection control guidance. 2005.
- [59] Pei LY, Gao ZC, Yang Z, Wei DG, Wang SX, Ji JM, Jiang BG. Investigation of the influencing factors on severe acute respiratory syndrome among health care workers. *Beijing Da Xue Xue Bao* 2006; 38: 271–275.

- [60] Breiman RF, Evans MR, Preiser W, et al. Role of China in the quest to define and control Severe Acute Respiratory Syndrome. *Emerg Infect Dis* 2003; 9: 1037-1041.
- [61] Seale H, MacIntyre R, McLaws M-L, et al. Health care worker practices around face mask use in hospitals in Hanoi, Vietnam. *15th ICID Abstracts / International Journal of Infectious Diseases* 2012; 16: 317–473.
- [62] Hinds WC. *Aerosol Technology. Properties, Behavior and Measurement of Airborne Particles*. 2nd ed, John Wiley & Sons, New York, 1999.
- [63] Schroth T. New HEPA/ULPA filters for clean-room technology. *Filtration & Separation* 1996; 33: 245-250.
- [64] Wepfer R. Characterisation of HEPA and ULPA Filters by Proposed New European Test Methods. *Filtration & Separation* 1995; 32: 545-550.
- [65] Smith JWH, Westreich P, Abdellatif H, Filbee-Dexter P, Smith AJ, Wood TE, et al. The investigation of copper-based impregnated activated carbons prepared from water-soluble materials for broad spectrum respirator applications. *Journal of Hazardous Materials* 2010; 180: 419-428.
- [66] Barhate RS, Ramakrishna S. Nanofibrous filtering media: Filtration problems and solutions from tiny materials. *Journal of Membrane Science* 2007; 296: 1-8.
- [67] Живковић Н. Компаративна анализа и избор оптималних метода за оцену квалитета високоэффективних филтера. Докторска дисертација, Универзитет у Нишу, Факултет заштите на раду, Ниш, 1990.
- [68] Николић Д. Заштита од нуклеарног, хемијског и биолошког оружја. ШЦ АБХО, Крушевац, 1997.
- [69] Show TD. *Fundamentals of Aerocol Science*, John Wiley and Sons, New York, 1978.
- [70] Живковић Н. Дефинисање параметара значајних за рад високо – ефективних филтера у циљу стварања оптималних услова за филтрирање. Магистарски рад, Универзитет у Нишу, Факултет заштите на раду, Ниш, 1991.
- [71] Техничко упутство за употребу, одржавање и складиштење ЗМ МЗ, Корпорација "TRAYAL", Крушевац 2012.
- [72] Wilson JR, Raven PB. Clinical pulmonary function tests as predictors of work performance during respirator wear. *American Industrial Hygiene Association Journal* 1989; 50: 51–57.
- [73] Zimmerman NJ, Eberts C, Salvendy G, McCabe G. Effects of respirators on performance of physical, psychomotor and cognitive tasks. *Ergonomics* 1991; 34:321-334.

- [74] Louhevaara V, Smolander J, Tuomi T, Korhonen O, Jaakkola J. Effects of an SCBA on breathing pattern, gas exchange, and heart rate during exercise. *J Occupational Medicine* 1985; 27: 213-216.
- [75] Wilson J, Raven PB, Morgan WP, Zinkgraf SA, Jackson AW. Alterations in physiological and perceptual variables during exhaustive endurance work while wearing a pressure-demand respirator. *American Industrial Hygiene Association Journal* 1989; 50: 139–146.
- [76] Jones JG. The physiological cost of wearing a disposable respirator. *American Industrial Hygiene Association Journal* 1991; 52: 219–225.
- [77] Salazar MK, Connon C, Takaro TK, Beaudet N, Barnhart S. An evaluation of factors affecting hazardous waste workers' use of respiratory protective equipment. *American Industrial Hygiene Association Journal* 2001; 62: 236–245.
- [78] Johnson A, Dooly CR, Blanchard CA, Brown EY. Influence of anxiety level on work performance with and without a respirator mask. *American Industrial Hygiene Association Journal* 1995; 56: 858–865.
- [79] Ristić M. *Klinička propedeutika*. Zavod za udžbenike, Beograd, 1990.
- [80] McArdle WD, Katch FI, Katch VL. *Exercise Physiology: Energy, Nutrition, and Human Performance*. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, 2007.
- [81] SRPS EN 136:2007, Средства за заштиту органа за дисање – Пуне маске – Захтеви, испитивања, обележавање. Институт за стандардизацију Србије
- [82] SRPS EN 14387:2013, Средства за заштиту органа за дисање – Филтри за гас и комбиновани филтри – Захтеви, испитивања, обележавање. Институт за стандардизацију Србије
- [83] SRPS EN 143:2007, Средства за заштиту органа за дисање – Филтри за честице – Захтеви, испитивања, обележавање. Институт за стандардизацију Србије
- [84] SRPS EN 149:2013, Средства за заштиту органа за дисање – Филтрирајуће полумаске за заштиту од честица – Захтеви, испитивања, обележавање. Институт за стандардизацију Србије
- [85] Cox CS. In *Bioaerosol handbook: Physical aspects of bioaerosol particles*. Lewis Publishers, New York, 1995.
- [86] COPC 8746:2005, Средства за личну РХБ заштиту, Маска, Заштитна – Методе испитивања. Дирекција за стандардизацију, кодификацију и метрологију, Министарство одбране Републике Србије

- [87] СОРС 8748:2004, Средства за личну РХБ заштиту, Цедило за маску, заштитну – Методе испитивања. Дирекција за стандардизацију, кодификацију и метрологију, Министарство одбране Републике Србије
- [88] ПКП 2697/87, Средства за РХБ заштиту, Маска заштитна М2. Дирекција за стандардизацију, кодификацију и метрологију, Министарство одбране Републике Србије
- [89] ПКП 6082/99, Средства за РХБ заштиту, Маска заштитна М2Ф. Дирекција за стандардизацију, кодификацију и метрологију, Министарство одбране Републике Србије
- [90] ПКП 6590/09, Средства за РХБ заштиту, Маска заштитна М3, М3-М3. Дирекција за стандардизацију, кодификацију и метрологију, Министарство одбране Републике Србије
- [91] Lok C, Ho C, Chen R, He Q, Yu W, Sun H, et al. Silver nanoparticles partial oxidation and antibacterial activities. *Journal of Biological Inorganic Chemistry* 2007; 12: 527-534.

БИОГРАФИЈА АУТОРА



Негован (Драгослав) Иванковић је рођен 28.03.1982. године у Сремској Митровици. Основну школу „Добросав Радосављевић-Народ“ у Мачванској Митровици је завршио са просечном оценом одличан 5.00. Војну гимназију у Београду је завршио са просечном оценом школовања одличан 5.00 као први у рангу 27. класе. Војну академију, Одсек Копнена Војска – смер АБХО је завршио као први у рангу 126. класе, са просечном оценом током школовања одличан 10.00.

Обављао је дужности командира вода кадета Војне академије, заменика начелника класе ученика Војне гимназије, референта за међународну војну сарадњу Војне академије, а од октобра 2009. године је асистент за ужу научну област „Заштита од НХБ оружја“ и ангажује се у наставном процесу школовања кадета Војне академије.

У јулу 2009. године, на Факултету за физичку хемију Универзитета у Београду, смер Контрола и заштита животне средине, одбранио је магистарски рад под насловом „Садржај тешких метала у земљишту града Београда“ и стекао титулу магистра физичко-хемијских наука.

У последњих осам година активно се бави научно-истраживачким радом. Током овог периода објавио је у својству аутора или коаутора више радова на међународним скуповима и конгресима, у часописима националног и међународног значаја. Учествовао је у извођењу следећих пројеката од интереса за Министарство одбране и Војску Србије:

- „Примена наноматеријала у унапређењу средстава респираторне и перкутане заштите у условима еколошког дисбаланса изазваног радиоактивном, хемијском и биолошком контаминацијом“ – пројекат спроводи Војнотехнички институт, Технолошко-металуршки факултет и Војна академија,
- „Процена еколошког ризика у војним објектима на којима се реализују вежбе, тактичка обука и гађања у ВС“ – пројекат спроводи Војна академија,
- „Допринос унапређењу борбене готовости припадника ВС – побољшање физиолошке подобности у условима високотоксичне контаминације и високих амбијенталних температура“ – пројекат спроводио Технички опитни центар.

Указом Председника државе, током студирања је одликован „Медаљом за врлине у областима одбране и безбедности“. Током службовања више пута је похваљиван и награђиван за нарочито залагање и постигнуте резултате у вршењу службе.

Ожењен је и отац је двоје деце.