

генерал-мајор др Младен Вуруна, ванредни професор
пуковник др Злате Величковић, доцент
потпуковник др Владан Радосављевић, ванредни професор
потпуковник др Радован Каркалић, ванредни професор
др Душан Рајић, редовни професор

Оцена докторске дисертације,
извештај.-

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ВА

Одлуком Наставно-научног већа Војне академије инт. бр. 10-383 од 10.06.2015. године одређени смо за чланове комисије за оцену и одбрану докторске дисертације капетана мр Негована Иванковића, под насловом:

ИСТРАЖИВАЊЕ ЕФИКАСНОСТИ СРЕДСТАВА ЛИЧНЕ РЕСПИРАТОРНЕ ЗАШТИТЕ У ОДНОСУ НА БИОЛОШКЕ АГЕНСЕ

Након прегледа дисертације, а у складу са *Законом о војним школама и војним научно-истраживачким установама, Правилником о организовању последипломских студија, начину полагања усменог докторског испита и одбрани докторске дисертације у високим војним школама и Статутом ВА*, подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

Приказ дисертације

Докторска дисертација капетана мр Негована Иванковића је обима 117 страница. Сам текст дисертације садржи 59 дијаграма и слика и 29 табела. У литератури је обрађен 91 наслов, од чега су 45 чланци из часописа и симпозијума, а 46 су књиге, монографије, стандарди, упутства и друге публикације.

Дисертација је обрађена кроз следећа поглавља:

- Увод,
- Теоријски део,
- Експериментални део,
- Резултати и дискусија,
- Закључак.

У **УВОДУ** су дефинисани предмет и циљ истраживања, дате основе за истраживање и постављене хипотезе од којих се полази у дисертацији, наведена методологија која ће бити примењена у раду, као и очекивани научни и друштвени допринос истраживања.

Образложена је потреба за оваквим истраживањима, која је настала као резултат стално присутне претње по људско здравље и животну средину од могуће контаминације биолошким агенсима и токсинима. Наведена појава је последица све чешћих природних епидемија у разним деловима света изазваних различитим типовима вируса,

као и повећаних могућности настајања епидемија употребом биолошких агенаса и токсина као биолошког оружја у ратним сукобима или у терористичке сврхе. Према томе, присутна је неопходност у истраживањима и развијању одговарајућих заштитних материјала и средстава, како у свету, тако и код нас, а све у циљу предузимања адекватних мера превенције.

Истакнута је сложеност спровођења превентивних мера услед низа проблема који настају контаминацијом биолошким агенсима 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.

Описани су различити могући облици преношења и ширења заразе, као и различити начини за примену превентивних мера за спречавање настанка и ширења овако насталих епидемија и пандемија. Код ширења инфекције је издвојен инхалациони пут преноса инфекције, јер се микроорганизми најефикасније распростиру кроз ваздух, па се тако људски организам најуспешније излаже утицајима биолошких агенаса из контаминираниог ваздуха преко удисања њихових аеросола. У складу са тим, као и препорукама Светске здравствене организације, предузимање мера респираторне заштите представља једну од основних мера превентиве и заштите.

На индивидуалном плану заштита дисајних органа се остварује ношењем различитих модела средстава респираторне заштите филтрирајућег типа – заштитних маски, полумаски, четвртмаски или употребом других физичких баријера. У Министарству одбране и Војсци Србије као формацијско средство личне респираторне заштите се користи заштитна маска (ЗМ), док се у цивилству за респираторну заштиту најчешће користе филтрирајуће полумаске (ФФ). Пошто рад у војној средини у мирнодопским и борбеним условима захтева - потпуно и несметано вишечасовно обављање наменских задатака без нарушавања оперативне способности комплетног система, као и његово непрекидно функционисање, намеће се потреба за коришћењем ефикасног и физиолошки погодног средства респираторне заштите.

Полазећи од напред наведених чињеница, истакнута је неопходност за систематизацијом и дубљом анализом појмова који су у међусобној зависности, а чија спрега карактерише целокупан проблем: високоинфективна контаминација биолошким агенсима – средства за респираторну заштиту – ефикасност заштите – физиолошка подобност. Сходно томе дефинисан је **предмет** докторске дисертације који представља истраживање ефикасности заштите и физиолошке подобности средстава личне респираторне заштите филтрирајућег типа (војних и цивилних) за заштиту свих припадника Министарства одбране и Војсци Србије од дејства биолошких агенаса, како у мирнодопским, тако и борбеним условима.

Предметно 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 вирусом. Уз то, актуелност се огледа и у чињеници да се сходно генерацији заштитних средстава квалитет средстава разликује сходно примењеним научним и технолошким достигнућима у појединим конструкцијским и техничким решењима самог средства, иако се код свих произвођача у свету производња заснива на сличном концепту. 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.

Наведено је да међу малим бројем земаља у свету Република Србија има развијену производњу средстава респираторне заштите за припаднике војске и цивилног становништва. Не постоје подаци да ли су та цивилна средства погодна за личну респираторну заштиту припадника војске од биолошких агенаса, као што није познато ни које је средство личне респираторне заштите најефикасније и најсврхисходније за ту сврху. Пошто у нашој земљи нису вршена циљана експериментална испитивања тих средстава по овом питању, јер је биолошка заштита хипотетички дефинисана, **научна оправданост** истраживања се огледа у стицању научних потврда о нивоу поузданости заштите припадника МО и ВС средствима респираторне заштите у односу на биолошке агенсе. С обзиром да јединице и установе МО и ВС представљају многобројне организационе целине нашег друштва, са великом фреквенцом кретања у разним друштвеним срединама, очигледан је практичан значај и **друштвена оправданост** истраживања.

Циљ докторске дисертације је био да се реално установи да ли заштитна маска као формацијско 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.

Истраживањем се жели потврдити основна научна 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, односно позитивно утицати на квалитет извршења наменских задатака свих припадника МО и ВС 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.

У експерименталном раду су планирана испитивања у лабораторијским условима уз примену испитно-мерне опреме којом би било вршено мерење и праћење свих параметара у реалном времену, као и пренос података. Наведено је да ће предметно истраживање бити спроведено кроз испитивање ефикасности заштите средстава у вештачки симулираним условима контаминације средине биолошким агенсима и испитивање физиолошке подобности средстава у условима вештачки створеног оптерећења. Методологија испитивања у овом истраживању заснована је на важећим европским и домаћим стандардима којима се регулише комплетна процедура током извођења испитивања, а за потребе испитивања извршена је набавка стандардима прописаног броја репрезентативних узорака свих испитиваних заштитних средстава.

ТЕОРИЈСКИ ДЕО ове дисертације се односи на три уско повезане области: епидемиологију, личну НХБ заштиту и технологију филтрирања филтрирајућим материјалима.

У **првом делу** је обрађена тематика везана за контаминацију животне средине и људи биолошким агенсима. У односу на начине настанка контаминације – природним или вештачким путем, образложене су карактеристичне особине биолошких агенаса, путеви ширења инфекције, начини њиховог продирања у људски организам и проблеми који настају услед овакве врсте контаминације.

Посматрајући кроз историју и искуства из последње деценије, као најчешћи узрочници епидемија/пандемија и карактеристични биолошки агенси су издвојени 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. Претходно наведено је детаљно образложено на примеру вируса инфлуенце типа А, као карактеристичног представника. Посебно је истакнут и објашњен ризик од употребе биолошког оружја, као последице злоупотребе достигнућа интензивног развоја молекуларне генетике и генетског инжењеринга.

Објашњено је ширење инфекције преносом биолошких агенаса кроз ваздух у виду аеросола насталих излучивањем вируса дисањем, говором, кијањем и кашљом, из вектора (носиоца) заразе путем назофарингеалног секрета (саливе и слузи), као и аеросола насталих дисеминацијом на циљ биолошких агенаса у виду биолошких борбених средстава. Пошто се микроорганизми најуспешније крећу кроз ваздух, а дисање је континуалан процес, најснажнији ефекти на људски организам се испољавају 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. Захваљујући њиховим карактеристикама, од којих су најбитније патогеност, инфективност (контагиозност), токсичност, инкубациони период, трансмисивност и могућност преношења на велике удаљености, јавља се низ значајних проблема који збирно могу да узрокују последице несагледивих размера.

У **другом делу** је обрађена историја развоја средстава респираторне заштите филтрирајућег типа. Дат је детаљан осврт на савремена средства која се користе у свету и код нас за војне потребе и у цивилству, са посебним приказом карактеристика средстава респираторне заштите у МО и ВС. Изложене су конструкционе и квалитативне карактеристике ових средстава које се огледају у примени најразвијенијих технологија пројектовања и производње, као и савремених материјала за израду елемената заштитних маски и филтрирајућих полумаски.

Представљене су битне особине комплета заштитних маски којима треба да се обезбеди велики степен заштите и физиолошка подобност за дуготрајно ношење ове врсте заштитног средства: уградња говорне мембране, могућности коришћења микрофона и система за пијење воде, усавршени поруб за заптивање и систем трака за затезање, веће видно поље и коришћење корекционих наочара, могућности рада са оптичким справама и компатибилност са осталим деловима војне опреме, могућност постављања комбинованог филтра (КФ) са леве и десне стране образине, као и висок квалитет филтрирајућих материјала (импрегнисани активни угљеви и филтрирајући медијуми) уграђених у комбиноване филтре.

Представљене су битне особине филтрирајућих полумаски којима треба да се обезбеди велики степен заштите и физиолошка подобност за дуготрајно ношење ове врсте заштитног средства: могућност ношења у свим приликама где су погодни услови за евентуално контаминирање ваздуха биоагенсима (боравак међу болесним или привидно здравим људима (здраве клицоноше), на јавним местима или местима других окупљања), филтрирање у оба смера - и удахнутог и издахнутог ваздуха и потенцијалних контаминаната, примена филтрирајућих материјала од нетканних полипропиленских влакана заснованих на нанотехнолошким достигнућима у области филтрирања и импрегнације истих са нано честицама (најчешће сребро-оксид, титанијум-оксид, злато) у циљу повећања ефикасности филтрирања.

У трећем делу је образложен механизам заштите код средстава респираторне заштите филтрирајућег типа као што су заштитна маска и филтрирајућа полумаска, који се заснива на принципу пречишћавања контаминаног 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.

Описан је процес филтрирања контаминаног ваздуха кроз филтрирајући материјал филтрирајућег медијума. Наведени процес представља динамичку категорију, јер се услед издвајања и задржавања честица, мењају параметри филтрирања који представљају основу за оцену квалитета филтрирајућег медијума. Зато су детаљно објашњени: аеродинамички отпор, пад притиска, ефикасност филтрирања (са тежиштем на механизмима за издвајање честица), утицај различитих фактора на продирање аеросолних честица кроз филтрирајући материјал - структурних особина филтрирајућег материјала (пречник влакна, активна филтрирајућа површина, дебљина и порозност), карактеристика аеросола (пречник, облик и агрегатно стање честице) и режима протицања ваздуха (брзина, температура, густина, вискозност и влажност).

Пошто је филтрирање процес којим се постиже само релативна заштита, тј. таква заштита која обезбеђује смањење присутних опасности на дозвољене вредности са циљем њиховог смањења на минимум, приказани су начини остваривања респираторне заштите код заштитних маски и филтрирајућих полумаски. Показано је да механизам личне респираторне заштите код ових средстава зависи првенствено од пропуштања аеросола контаминанта према унутрашњости средстава и ефикасности филтрирања аеросола контаминанта кроз филтрирајући медијум, уз услов одговарајућег отпора удисања за оба процеса.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕО истраживања за потребе ове дисертације спроведен је у оквиру научно-истраживачког 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“. Наведено је да је истраживање спроведено кроз лабораторијска испитивања при Одељењу за хемијску и нуклеарну заштиту Сектора за материјале и заштиту Војнотехничког института у Београду, а карактеризација узорака филтрирајућих материјала СЕМ техником 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.

Објашњено је да су у складу са циљем истраживања извршена испитивања по следећем:

1. испитивање ефикасности заштите средстава личне респираторне заштите филтрирајућег типа – преко испитивања пропуштања према унутрашњости и преко пропуштања кроз филтрирајући медијум,
2. испитивање физиолошке подобности средстава личне респираторне заштите филтрирајућег типа - преко испитивања отпора при удисању.

За потребе наведених испитивања су коришћени узорци прикључака за дисање и комбинованих филтера 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 антимикробне (ЕМ1), епидемиолошке маске са „нано“ филтером (ЕМ2) и хируршких маски (ХМ1, ХМ2 и ХМ3). Сви испитивани узорци су производи који су доступни за набавку у нашој земљи. Узорци прикључака за дисање (образица) заштитних маски и комбинованих филтера 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).

Испитивања пропуштања аеросола контаминанта према унутрашњости заштитних средстава су спроведена у контролисаним условима у испитној комори, уз ангажовање 10 испитаника који су изабрани према критеријумима антропометријске матрице дефинисане стандардом. Исти су носили прикључак за дисање заштитног средства, били излагани 2 % воденом раствору аеросола NaCl ходајући по покретној траци у испитној комори брзином од 6 km/h и изводили одређене стандардом прописане радње које симулирају одговарајући интензитет физичког напора (укупног трајања 10 min). Током спровођења испитивања, методом пламене фотометрије је вршено мерење концентрације аеросола у испитној комори, као и концентрације пропуштеног аеросола у простору испод прикључка за дисање у фази удисања.

Испитивања ефикасности и динамике филтрирања аеросола контаминанта кроз филтрирајући медијум заштитних средстава су спроведена у контролисаним лабораторијским условима у специфичној испитној атмосфери при испитном протоку од 30 dm³/min и 95 dm³/min.

Испитивања ефикасности филтрирања филтрирајућих медијума вршена су у испитној комори тако што се кроз узорке филтрирајућих медијума просисавао 1 % водени раствор аеросола NaCl. У току ове радње је методом пламене фотометрије вршено мерење концентрације аеросола пре и после испитног узорка на 3 min од почетка испитивања као просечни одзив инструмента у интервалу времена од 30±3 s.

Испитивања динамике филтрирања филтрирајућих медијума вршена су у испитној комори тако што се кроз узорке филтрирајућих медијума пропуштао 1 % водени раствор аеросола NaCl, при чему је методом пламене фотометрије вршено мерење концентрације аеросола пре и после испитног узорка током 30 min на сваких 5 min од почетка испитивања као просечни одзив инструмента у интервалу времена од 30±3 s. При том је истовремено вршено и мерење отпора филтрирајућег медијума протоку аеросола манометром који је једним изводом био спојен са простором испод средства у диспозитиву филтрирајућег медијума, а другим отворен према атмосфери.

Испитивање физиолошке подобности средстава личне респираторне заштите филтрирајућег типа спроведено је кроз испитивање отпора целокупних заштитних средстава и испитивања отпора комбинованих филтера.

Испитивања отпора целокупних заштитних средстава су вршена тако да ваздух континуално струји кроз заштитно средство херметички причвршћено на модел испитне главе у простор између средства и испитне главе. Мерење отпора пре и после фазе удисаја је вршено манометром, чији је један извод спојен са простором испод средства у нивоу отвора за уста на моделу главе, а други отворен према атмосфери.

Испитивања отпора комбинованих филтара су спроведена тако да ваздух континуално струји кроз КФ који је био херметички причвршћен на диспозитив за филтар. Мерење отпора овог филтрирајућег медијума протоку ваздуха је вршено манометром који је једним изводом био спојен са простором испод средства у диспозитиву филтрирајућег медијума, а другим отворен према атмосфери.

Четврти део рада представљају **РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА** резултата наведених испитивања. Објашњено је груписање по серијама свих резултата добијених експерименталним испитивањима са циљем њихове статистичке обраде и стицања основних статистичких параметара. За статистичку обраду је коришћен статистички програмски пакет *IBM SPSS Statistics Data Editor*, верзија 20. Нормална статистичка расподела резултата добијених експерименталним испитивањима сваког средства тестирана је *Shapiro-Wilk* тестом. 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.

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

Резултати испитивања *пропуштања према унутрашњости* су показали да сви узорци заштитне маске испуњавају критеријум за пропуштање према унутрашњости ове врсте заштитног средства који је дефинисан стандардом SRPS EN 136:2007, као и да сви узорци филтрирајуће полумаске испуњавају критеријум за пропуштање према унутрашњости ове врсте заштитног средства који је дефинисан стандардом SRPS EN 149:2013. Вредности пропуштања образина ЗМ су много мање у односу на вредности пропуштања модела ФФ (у просеку од 100 до преко 2000 пута), а анализом резултата је утврђено да постоји статистички значајна разлика између њихових серија резултата.

Дискусија резултата је показала да су сви испитивани модели ФФ и образина ЗМ врхунског квалитета израде. Утврђено је да 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 током тестирања су одређена критична места која најнеповољније утичу на вредност пропуштања код ФФ, а то је подручје где се метална трака причвршћује за нос корисника и подручје где средство покрива браду корисника (одређује конструкцијску плиткост средства). Утврђено је да од свих испитиваних средстава, најбоље налагање на лице корисника имају образине ЗМ, а да међу ФФ најбоље налагање на лице имају модели ХМ1 и ЕМ2, док најнеповољније налагање модели ХМ3 и ЕМ1. Субјективна запажања испитаника су и да већу

физиолошку подобност при употреби омогућавају ФФ, а међу њима највећи комфор обезбеђује модел ХМ1.

Резултати испитивања *ефикасности филтрирања филтрирајућих медијума* при протоку испитног аеросола од $95 \text{ dm}^3/\text{min}$ и $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ су показали:

- да сви узорци свих модела КФ припадају најефикаснијој Р3 класи која је дефинисана стандардом SRPS EN 14387:2013 за ову врсту заштитних средстава, јер су вредности пропуштања знатно мање у односу на границу критеријума,

- да узорци филтрирајућих полумаски модела ЕМ1, ЕМ2, ХМ1 и ХМ2 припадају најефикаснијој FFP3 класи, а узорци модела ХМ3 мање ефикасној FFP2 класи, које су дефинисане стандардом SRPS EN 149:2013 за ову врсту заштитних средстава.

Утврђено је да су при оба протока вредности пропуштања свих модела КФ 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 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 (седам до десет пута) у односу на вредности пропуштања осталих модела ФФ, тако да се може закључити да су филтрирајући материјали уграђени у моделе ХМ1 и ХМ2 већег квалитета у односу на остале моделе.

Анализом резултата добијених испитивањем при протоку $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ је утврђено 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 анализом резултата добијених испитивањем при протоку $95 \text{ dm}^3/\text{min}$ 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.

Дискусија резултата је показала да ефикасност филтрирања код модела КФ зависи и од конструкционих 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). Такође, утврђено је 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 прилично веће 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 мање при већем протоку (у просеку од малог повећања (око 10 %) код модела ХМ3 до преко 2,5 пута код модела ХМ1).

Објашњено је да је наведена појава код модела КФ 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. Објашњено је да код модела ФФ појава повећања ефикасности филтрирања при повећања запреминског протока аеросола резултат релативног повећања активне филтрирајуће површине ФФ насталог услед већег потпритиска при повећању брзине струјања аеросола кроз малу филтрирајућу површину ФФ, те је повећано таложења честица по механизму дифузије.

Резултати испитивања *динамике филтрирања филтрирајућих медијума* су показали да у односу на остале моделе КФ модел КФ М2 показује највеће пропуштање и највећу промену отпора, што указује на то да има најмању густину паковања и најмањи капацитет пуњења. Уочено је да 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 мало мању густину паковања и мало већи капацитет пуњења. Утицај ових карактеристика се израженије испољава при већем протоку испитног аеросола.

Анализом резултата је утврђено да 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 мало мању густину паковања и мало већи капацитет пуњења, што је објашњено присуством једног слоја основног филтрирајућег материјала импрегнисаног наночестицама сребра које имају позитиван поларитет тако да све супротно наелектрисане честице хватају у своју потенцијалну јаму. Овим се постиже већа активност основног филтрирајућег материјала, што потврђује експериментални резултат где после дужег временског излагања испитном аеросолу модел ЕМ2 обезбеђује мање пропуштање уз мањи отпор у односу на модел ЕМ1.

Утврђено је да 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 показује највеће пропуштање и највећу промену отпора.

Истакнуто је да 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 модели ФФ 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.

Утврђено је да СЕМ прикази филтрирајућих материјала испитиваних модела заштитних средстава показују да су промене у филтрирајућим карактеристикама филтрирајућих материјала услед различитих протока аеросола израженије код модела ФФ у односу на моделе КФ. Као и при испитивању ефикасности филтрирања при различитим протоцима, филтрирајући материјали свих испитиваних модела заштитних средстава изразитије показују разлике у структурним филтрирајућим карактеристикама при већим протоцима испитног агенса.

Резултати испитивања *отпора целокупних заштитних средстава* су показали да:

- сви узорци свих модела заштитне маске испуњавају критеријуме задате прописима ПКП 2697/87, ПКП 6082/99 и ПКП 6590/09, јер су вредности отпора при удисању при протоку ваздуха од $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ и $95 \text{ dm}^3/\text{min}$ знатно мање у односу на прописима дефинисане вредности (при протоку од $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ - у просеку око 50 % за ЗМ М2, 45 % за ЗМ М2Ф и око 30 % за ЗМ М3, а при протоку од $95 \text{ dm}^3/\text{min}$ - у просеку преко 50 % за ЗМ М2 и око 60 % за ЗМ М2Ф и ЗМ М3),

- сви узорци свих модела филтрирајућих полумаски у потпуности испуњавају критеријуме задате стандардом SRPS EN 149:2013, јер су вредности отпора при удисању при протоку ваздуха од $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ и $95 \text{ dm}^3/\text{min}$ знатно мање у односу на стандардом дефинисане вредности (при протоку од $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ - у просеку око 48 % за EM1, око 42 % за EM2, око 23 % за XM1 и XM2, око 56 % за XM3, а при протоку од $95 \text{ dm}^3/\text{min}$ - у просеку око 52 % за EM1, око 57 % за EM2, око 11 % за XM1, око 9 % за XM2, око 71 % за XM3).

Анализом резултата је утврђено да су вредности отпора при удисању при оба испитна протока код свих узорака целокупног модела ЗМ знатно веће у односу на вредности отпора код модела ФФ, што је објашњено као последица утицаја образине ЗМ и утицаја веће активне филтрирајуће површине уграђеног филтрирајућег материјала у КФ.

Дискусија резултата је показала да су при мањем протоку вредности отпора свих модела ЗМ 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 XM1 и XM2, а вредности отпора модела XM3 су врло блиске вредностима отпора модела EM1 и EM2). Ово смањење разлика у отпорима је објашњено 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. Запажено је да је ова појава израженија код филтрирајућих материјала са мањом густином паковања, што показује да зависи директно од структурних карактеристика уграђених филтрирајућих материјала.

Утврђено је да уграђени филтрирајући материјал комбинованог филтра модела ЗМ M2 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 $95 \text{ dm}^3/\text{min}$. Уграђени филтрирајући материјали комбинованих филтара ЗМ M2Ф и ЗМ M3 имају врло сличне густине паковања, с тим што је мало већи капацитет пуњења филтрирајућег материјала код модела ЗМ M3.

Утврђено је да постоји велика разлика између структурних карактеристика уграђених филтрирајућих материјала код модела ФФ - код модела XM1 и XM2 је највећа густина паковања (трослојни модели, а дају највеће вредности отпора), потом следе модели EM1 и EM2 (четворослојни модели са средњим вредностима отпора), док је код модела XM3 најмања густина паковања филтрирајућег материјала (трослојни модел са великом разликом вредности отпора при различитим протоцима ваздуха).

Резултати испитивања *отпора комбинованих филтара* су показали да сви узорци свих модела комбинованих филтара испуњавају критеријуме задате стандардом SRPS EN 14387:2013, јер су вредности отпора при удисању при протоку ваздуха од $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ и $95 \text{ dm}^3/\text{min}$ знатно мање у односу на прописима дефинисане вредности (при протоку $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ у просеку 50 % за КФ M2, око 45 % за КФ M2Ф и око 55 % за КФ M3, а при протоку $95 \text{ dm}^3/\text{min}$ у просеку око 58 % за КФ M2, око 62 % за КФ M2Ф и 65 % за КФ M3).

Анализом резултата је утврђено да уграђени филтрирајући материјали код модела КФ M2 у односу на све остале има најмању густину паковања, али и најмањи капацитет пуњења. Уграђени филтрирајући материјали код модела КФ M2Ф и КФ M3 имају врло сличне структурне филтрирајуће карактеристике, али уграђени филтрирајући материјал код модела КФ M3 има мало мању густину паковања и мало већи капацитет пуњења, односно већу активну филтрирајућу површину.

У поглављу **ЗАКЉУЧАК** је извршено сумирање најзначајнијих резултата истраживања на основу свих чињеница утврђених при испитивању ефикасности заштите и физиолошке подобности средстава респираторне заштите које у потпуности потврђују постављене тезе и оправдавају циљ и предмет истраживања.

Сви испитивани модели образина ЗМ, комбинованих филтара и ФФ (изузев модела ХМЗ) су врхунског квалитета израде и испуњавају најстроже критеријуме ефикасности заштите дефинисане стандардима за ове врсте заштитних средстава, тако да представљају високоефикасна 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) образине 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 - међу моделима КФ се истичу модели КФ М2Ф и КФ М3, а међу моделима ФФ модели ХМ1 и ХМ2.

Већу физиолошку подобност при употреби омогућавају ФФ, јер вредности отпора при удисању код 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, односно највеће вредности отпора у својим групама, према субјективним запажањима испитаника међу моделима ЗМ највећи комфор обезбеђује модел ЗМ М3, а међу моделима 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.

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 уз одговарајућу физиолошку подобност 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, с обзиром да 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.

ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

Комисија сматра да је на основу систематски и квалитетно спроведених експерименталних и теоријских истраживања, уз примену адекватних научних метода, кандидат успешно потврдио постављене тезе и у потпуности реализовао циљ дисертације.

Докторска дисертација је правилно систематизована, јасно изложена логичким редоследом и технички изузетно квалитетно обрађена.

Научни допринос докторске дисертације се огледа у следећем:

- Утврђивање и научно објашњење законитости која постоји између ефикасности заштите и физиолошке подобности средства респираторне заштите у случају излагања корисника контаминацији биолошким агенсима путем дисајних органа;
- Одређивање модела средства респираторне заштите која по конструкцијском основу (величинске димензије, налагање средства на лице корисника) највише одговарају распону антропометријских димензија наше популације становништва;
- Одређивање модела средстава респираторне заштите која према конструкционим и структурним карактеристикама представљају најквалитетнија и физиолошки најпогоднија средства за респираторну заштиту у односу на биолошке агенсе;
- Унапређење процеса истраживања средстава респираторне заштите филтрирајућег типа утврђивањем чињенице да је за темељну потврду квалитативних карактеристика било које врсте филтрирајућих медијума уграђених у средства респираторне заштите филтрирајућег типа, неопходно при различитим протоцима испитног аеросола вршити истовремено испитивање ефикасности филтрирања и промене отпора филтрирајућег материјала у зависности од времена филтрирања;
- Унапређење личне респираторне заштите припадника МО и ВС кроз стицање научних потврда о нивоу поузданости средстава респираторне заштите за употребу у условима контаминације биолошким агенсима;
- Стицање научног основа за предлог усвајања нових правилских одредби по питању коришћења средстава респираторне заштите у МО и ВС.

ЗАКЉУЧАК КОМИСИЈЕ

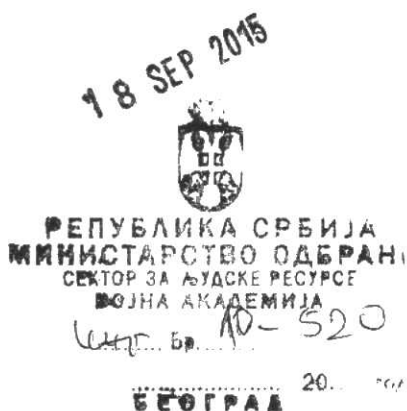
На основу изнетог комисија једногласно закључује да је кандидат **капетан мр Негован Иванковић** у потпуности и квалитетно обрадио постављени проблем, потврдио тезе, успешно спровео циљ истраживања и да предата дисертација под називом:

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

испуњава све законске критеријуме.

У складу са тим комисија предлаже Наставно-научном већу Војне академије да усвоји извештај и одобри јавну одбрану.

Београд, 14.09.2015. године



КОМИСИЈА:

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

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