

Универзитет у Крагујевцу
Факултет инжењерских наука

09.10.2015		
01-113879		

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФАКУЛТЕТА ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА

Предмет: Извештај Комисије за оцену писаног дела и усмену јавну одбрану докторске дисертације кандидата Небојше Христова, дипл. инж. маш.

Одлуком Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, број 01-1/2942-13 од 27. 08. 2015. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Небојше Христова, дипл. инж. маш. под насловом:

"Утицај промене гасодинамичких карактеристика барутних гасова на интензитет натпритиска применом специјалних гасних уређаја оружја"

Одлуком Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, бр. 01-1/475-4 од 19. 02. 2015. године одобрена му је израда докторске дисертације под насловом: **"Утицај промене гасодинамичких карактеристика барутних гасова на интензитет натпритиска применом специјалних гасних уређаја оружја"**.

На основу увида у приложену докторску дисертацију и Извештаја о подобности кандидата и теме за докторску дисертацију, која је одобрена за израду одлуком Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука у Крагујевцу, бр. 01-1/475-4 од 19. 02. 2015. године, а на основу Правилника о пријави, изради и одбрани докторске дисертације Универзитета у Крагујевцу, Комисија подноси Наставно-научном већу следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Значај и допринос докторске дисертације са становишта актуелног стања у одређеној научној области

Докторска дисертација кандидата Небојше Христова, дипл. инж. маш., под насловом **"Утицај промене гасодинамичких карактеристика барутних гасова на интензитет натпритиска применом специјалних гасних уређаја оружја"**, представља резултат научноистраживачког рада кандидата у актуелној научној области која се односи на теоријско-експериментално истраживање могућности математичке интерпретације промена гасодинамичких параметара ударног таласа, насталог истицањем барутних гасова на устима цеви, у пољу око цеви оружја након опаљења, са и без примене пригушивача, као и креирање симулационих модела на основу представљених математичких модела. Реализована су и експериментална истраживања на реалним моделима у циљу добијања резултата и валидације резултата добијених симулацијама. С обзиром на дате теоријске основе, креирање

симулационих модела и реализоване експерименте са добијеним резултатима, ова дисертација представља оригинални научни рад. Кандидат Небојша Христов, дипл. инж. маш. је, најпре, детаљно анализирао и систематизовао постојећа сазнања из ове области, а затим презентовао аналитичке и нумеричке прорачунске математичке методе, на основу којих су креирани симулациони модели. Дефинисао је методу експерименталног испитивања на реалним пројектованим моделима и, најзад, дошао до научно заснованих закључака анализом дебијених резултата, који се у великој мери подударају.

Позната чињеница је негативно дејство натпритиска на устима цеви код класичног стрељачког наоружања, које се може осетити и на удаљеностима већим од 100 калибара оружја, па се због тога намеће потреба да се тачно процени његов интензитет. Пропратне појаве процеса опаљења су последица велике енергије барутних гасова. Оне се манифестују високим интензитетом натпритиска, високом температуром и великом брзином струјања гасова. Видљиве пропратне појаве на устима цеви су блесак, пуцањ и ударни талас. Пуцањ, као импулсни ударни талас из оружја, има много негативних утицаја на човека и окружење. Натпритисак ударног таласа се креће у границама од 0,1 до 0,9 bar, али је његово дејство на органе слуха и унутрашње органе веома велико. У најблажем облику дејства, може да изазове конфузију и краткотрајни губитак слуха, док већи интензитети и већа учесталост излагања (карактеристично за оруђа великих калибара) могу да доведу до трајног оштећења унутрашњих органа и органа слуха, до степена трајног инвалидитета. Примарни задатак истраживања ове дисертације је био математичка интерпретација промена гасодинамичких параметара ударног таласа, насталог истицањем барутних гасова на устима цеви, у пољу око цеви оружја након опаљења, са и без примене пригушивача.

Уколико се процес промена параметара ударног таласа посматра као акустичка појава, може се у теоријском смислу математички описати. У овом случају пригушивач пуцња представља акустички таласни трансформатор, чија је улога да изврши редукцију примарне акустичке карактеристике, која у основи представља натпритисак истичућих барутних гасова. Због малих димензија излазног пресека цеви оружја, односно пригушивача пуцња, у акустичком смислу се исти поистовећује са тачкастим звучним извором строго усмереног дејства. Промена таласних карактеристика у пољу око цеви оружја се, према законитостима акустике, могу одредити функцијом слабљења у односу на еквидистанцу и фактор усмерености. Овакав приступ описивања представља аналитички модел, за који се могу применити електро-акустичке аналогиије у циљу упрошћења прорачуна. На основама ове математичке интерпретације, уколико се примени декомпозициони приступ за пригушивач као акустички трансформатор, могуће је креирање симулационог модела промене параметара ударног таласа у пољу око цеви оружја. За симулациони аналитички модел је искоришћена платформа National Instruments MULTISIM, где је сложени акустички систем представљен као еквивалентно електрично осцилаторно коло.

Истицање барутних гасова у процесу опаљења представља сложени гасодинамички процес, који се описује системом диференцијалних једначина Навије-Стокса за нестационарна, нехомогена и нелинеарна струјања. Решавање система једначина је комплексно и углавном се, за одређивање вредности промена гасодинамичких параметара, примењују нумерички модели прорачуна. Нумерички CFD модели, базирани на методи коначних запремина, су најшире примењивани физички засновани модели за одређивање карактеристике сложених струјања гасова, конципирани углавном на RANS математичком моделу. Поред нумеричког модела у овој дисертацији је математички описан и оствариви $k-\epsilon$ модел турбулентне вискозности, као и временска дискретизација вишефазног струјања – VOF (volume of fraction), са имплицитном променом нумеричке шеме, која је према препорукама у литератури погодна за описивање ударних таласа. У доступној литератури се за симулацију нестационарних, нехомогених и нелинеарних струјања, на основу нумеричких прорачуна, примењују разни комерцијални софтвери (углавном Fluent, Discontinuous Galerkin Code (DG), CFD-FASTRAN и други). У овој дисертацији је за симулациони модел примењен комерцијални софтвер Ansys Fluent 12.0 са имплементираним математичким моделима нумеричког прорачуна.

Иако предмет истраживања није био дефинисање оптималних параметара пригушивача пуцња, ради верификације квалитета математичких интерпретација и њихових примена у симулационим моделима, пројектована су и израђена два функционална модела пригушивача. Дефинисана је и методологија регистровања промене примарног гасодинамичког параметра у пољу око оружја у току процеса опаљења. На основу дефинисане методологије извршена су експериментална мерења и прикупљени су подаци промене примарног гасодинамичког параметра у пољу око оружја за 16 карактеристичних тачака на четири еквидистанце од извора звука, за четири правца у односу на правац кретања пројектила. Експериментом је вршено и регистровање почетне брзине пројектила за свако опаљење.

Поред оптимизације аналитичких и нумеричких модела, дефинисана је методологија регистровања промене гасодинамичких параметара око цеви оружја. Оваквим приступом је обезбеђена поновљивост и универзалност одређивања промена параметара карактеристика ударног таласа истичућих барутних гасова у пољу око цеви за сва стрелачка оружја, што представља нови приступ у фази пројектовања и испитивања пригушивача пуцња и гасних уређаја стрелачког оружја.

2. Оцена да је урађена докторска дисертација резултат оригиналног научног рада кандидата у одговарајућој научној области

Комисија сматра да докторска дисертација кандидата Небојше Христова, дипл. инж. маш., под насловом **"Утицај промене гасодинамичких карактеристика барутних гасова на интензитет натпритиска применом специјалних гасних уређаја оружја"**, представља резултат оригиналног научног рада. Обрађена тема је веома актуелна и значајна за развој примењених наука у области теоријског и експерименталног истраживања промена параметара гасодинамичких карактеристика ударног таласа истичућих барутних гасова у пољу око оружја након опаљења, односно подручје прелазне балистике. Кандидат је стекао велико искуство у одржавању наоружања, док је током реализације наставе стекао искуство у идентификацији и теоријском одређивању битних гасодинамичких карактеристика у процесу опаљења оружја. Школовањем на докторским студијама је стекао добре теоријске основе из фундаменталних научних дисциплина, релевантних за ова истраживања. Будући да је на практичном нивоу познавао већину метода прорачуна и идентификације, успео је да прорачунским методама дође до резултата који су приближни експериментално измереним, као и да предложи нови приступ у одређивању примарне гасодинамичке карактеристике барутних гасова у процесу опаљења. На основу ових достигнућа је предложио смернице за примену нових метода у процесу пројектовања нових гасних уређаја, као што је пригушивач пуцња.

Све споменуто, омогућило је кандидату да предложи прорачунске технике за одређивање гасодинамичких параметара у пољу око оружја након опаљења, узимајући у обзир детаљно изложене теоријске основе, засноване на сазнањима из акустике, електротехнике, гасодинамике, унутрашње балистике и других научно-стручних дисциплина. Кандидат је презентовао теоријске основе за касније креиране симулационе прорачунске моделе, као и методологију за регистровање примарне гасодинамичке карактеристике ударног таласа истичућих барутних гасова након опаљења оружја. У целини гледано, дисертација садржи солидну теоријску подлогу, самостално изведене експерименте, као и обраду и оцену добијених резултата, коментаре неких феномена уочених у току испитивања, као и одговарајуће закључке, тако да ова дисертација у целини представља оригиналан и самосталан научни рад.

Захваљујући већ споменутом вишегодишњем искуству у наведеној области, кандидат је могао да уочи све недостатке досадашњих истраживања у идентификацији примарног гасодинамичког параметра у простору око цеви оружја након опаљења, јер је исти првенствено одређиван на једној или две локације применом акустичких уређаја за одређивање нивоа буке, који је базиран на само одређеном таласном домену, односно дефинисаним таласним дужинама, што само делимично описује природу ударног таласа. У области прорачунских метода, у нашој земљи област прелазне балистике је врло мало истражена, а сва истраживања

су вршена на бази полуемпиријских и емпиријских претпоставки и са упрошћеним аналитичким методама. Кандидат је предложио другачије прорачунске моделе: први који је базиран на законитостима акустике, применом декомпозиционог приступа и применом електро-акустичких аналогја и други, базиран на нумеричким методама за сложена нестационарна нехомогена и нелинеарна струјања, коришћењем савремених математичких модел на којима је базиран нумерички прорачун CFD Ansys 12.0 софтверски алат. Нови приступ прорачуна и модел мерења гасодинамичких карактеристика омогућавају примену у пројектовању нових гасних уређаја оружја, који прате савремене трендове у свету. Кандидат је у овој области, овом циљу и прилагодио предмет истраживања у овој дисертацији.

3. Биографски подаци и преглед остварених резултата рада кандидата

Небојша Христов је рођен 09. јануара 1978. године у Босилеграду, Република Србија. Живи и ради у Београду. Ожењен је и има двоје деце.

Основну школу "Георги Димитров" завршио је 1992. године у Босилеграду. Четврти степен стручне спреме, стекао је у "Гимназији" у Босилеграду, општи смер, коју је завршио 1996. године.

Војнотехничку академију је уписао школске 1996/97 године у Београду, смер Техничка служба копнене војске, усмерење машинско, специјалност наоружање. У септембру 2001. године завршава студије у року (5 година) са просечном оценом 7.55 (седам и 55/100). Дипломски рад под насловом "Двофазно струјање у цевима оруђа са комбинованим пуњењем" радио је из предмета Унутрашња балистика. Овај рад је одбранио са оценом 10 (десет).

У периоду од 2001. до 2007. године ради као управник радионице за ремонт техничких средстава у јединицама Војске Србије у Врању. Од 2007. ради на Војној академији у одсеку за планирање техничког одржавања средстава наоружања и војне опреме, метролошких уређаја и инструмената, као и осталих техничких система и средстава. Поред своје редовне дужности активно је укључен у реализацију наставе, почев од школске 2007/2008. године на Војној академији, а од школске 2012/2013. и на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу, на заједничком студијском модулу Војноиндустријско инжењерство. Од априла 2014. године ради на Катедри војномашинског инжењерства, на месту сарадника у настави и активно учествује у реализацији шест предмета.

Докторске студије уписује школске 2010/2011. године на Машинском факултету у Крагујевцу, област Примењена механика, под менторством др Слободана Савића, ванр. проф. Све предмете на докторским студијама је положио са просечном оценом 10,00.

Активно учествује у реализацији наставе (на Војној академији у Београду и Факултету инжењерских наука у Крагујевцу) на предметима: Балистика, Унутрашња балистика, Технологија одржавања наоружања, Борбена употреба наоружања, Основи конструкције наоружања и ракета и Техничка дијагностика.

У току досадашњег радног века објавио је 8 научних радова у научним часописима са рецензијом, као и у зборницима радова са домаћих и међународних научно-стручних скупова. Од тога су два рада објављена на SCI листи, при чему је један категорије M22 а други категорије M23.

Рад у истакнутом међународном часопису (M22)

1. Savić, S., Obrović, B., Hristov, N.: *Analysis of the Axisymmetrical Ionized Gas Boundary Layer Adjacent to Porous Contour of the Body of Revolution*, Thermal Science 2015 OnLine-First Issue 00, Pages: 143-143, ISSN 0354-9836, Doi 10.2298/TSCI150422143S.

Рад у међународном часопису (M23)

1. Hristov, N., Kari, A., Jerković, D., Savić, S., Sirovatka, R.: *Simulation and Measurements of Small Arms Blast Wave Overpressure in the Process of Designing a Silencer*, Measurement Science Review, Vol. 15, No. 1, pp. 27-34, ISSN 1335-8871, Doi 10.1515/msr-2015-0005, 2015.

Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33)

1. Христов, Н., Танчић, Љ.: *Моделирање двофазног струјања у цевима оруђа са комбинованим пуњењем*, XXI ЈКЕМ-Симпозијум о експлозивним материјама са међународним учешћем, Тара 2001, стр. 219-228.
2. Jerković D., Regodić D., Reljić Ž., Hristov N.: *The Prediction of Axial Aerodynamic Coefficient Reduction Using Base Bleed*, Fourth Serbian (29th Yu) Congress on Theoretical and Applied Mechanics, Умјачка Бања 2013, (B-12), pp. 285-290, ISBN 978-86-909973-5-0.
3. Hristov, N., Kari A., Jerković D., Savić S.: *Simulation of weapon silencer exits using of functional decomposition approach*, 6th International Scientific Conference on Defensive Technologies-ОТЕН 2014, Belgrade 2014, pp. 311-316, ISBN 978-86-81123-71-3.

Рад у часопису националног значаја (M52)

1. Христов Н., Савић С.: *Моделирање двофазног струјања у цевима оруђа са комбинованим пуњењем*, Војнотехнички гласник, Vol. 59, No. 4, 2011, pp. 158-173, ISSN 0042-8469.
2. Христов, Н., Јовичић, Г.: *Одређивање животног века цеви оружја-оружја*, Војнотехнички гласник, Vol. 61, No. 3, 2013, pp. 173-196, ISSN 0042-8469.

Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини (M63)

1. Христов, Н., Кари, А., Јерковић, Д., Савић, С.: *Експериментална провера и анализа у процесу пројектовања оружја-оружја*, 40. Национална конференција о квалитету, Фестивал квалитета 2013, Крагујевац 2013, стр. А72-А75 - рад објављен на CD-у, ISBN 978-86-86663-93-1.

4. Оцена о испуњености обима и квалитета у односу на пријављену тему

Докторска дисертација кандидата Небојше Христова, дипл. инж. маш., под насловом "Утицај промене гасодинамичких карактеристика барутних гасова на интензитет натпритиска применом специјалних гасних уређаја оружја", усклађена је по обиму и садржају теми одобреној од стране Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука и Стручног већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу. Највећим делом дисертација је проистекла из сопствених истраживања аутора и обраде тако добијених резултата, одакле су произашли одговарајући закључци. Тиме су у целини испуњени сви научни, стручни и законски услови да ова дисертација буде прихваћена.

Докторска дисертација изложена је на укупно 229 страница текста формата А4, уз 18 уводних страница на којима су дати: Предговор, Резиме рада на српском и енглеском језику, Преглед слика, Преглед табела, Преглед коришћених ознака и Садржај. Текст дисертације илустрован је са 112 слика (цртежа, дијаграма, фотографија, шема и др.) и 39 табела. На последњих пет страница наводи се списак од 94 библиографских јединица које су директно везане за област истраживања или су њој блиске. Дисертација се састоји из: 9 глава, Литературе и Прилога.

Основни циљ дисертације је да се образложе и препоруче савремене методе прорачуна примарне гасодинамичке карактеристике простирања ударног таласа, насталог истицањем барутних гасова из цеви оружја након опаљења оружја. Да би остварио постављени циљ, аутор је претходно разматрао све процесе и појаве које се одвијају у цеви оружја током опаљења и на основу унутрашњебаллистичког прорачуна, са корекцијом за позајмицу барутних гасова неопходних за рад аутоматике, је дошао до вредности промене примарне гасодинамичке карактеристике-притиска барутних гасова на устима цеви, након што је излетео пројектил.

Даље је разматрао и предложио методе које се могу применити за одређивање вредности притиска барутних гасова у удаљеној тачки у односу на уста цеви, односно тачкасти извор звука строго усмереног дејства. Аутор је приказао два модела одређивања карактеристика прорачунским путем.

Први модел је базирао на основним законитостима акустике, где се задњи пресек цеви, односно пригушивача, посматра као тачкасти извор строго усмереног дејства. Пригушивач у формалном смислу за акустичке појаве представља акустички таласни трансформатор, који има за циљ да преко својих саставних компоненти изврши, поред редуције интензитета, и фреквенцијску промену улазног акустичког сигнала. Сложени акустички трансформатор је формално могуће разложити на саставне елементе, применом декомпозиционог приступа, где излазне вредности таласа претходног елемента представљају улазне вредности за наредни. У теоријском делу је дефинисана законитост и међусобно повезивање основних елемената вршењем рекомпозиције. За удаљену тачку су дефинисане и функције слабљења у зависности од одстојања извора, као и фактор слабљења у односу на усмереност. Аутор је приказао и формалне везе одређених величина у акустици и електротехници, којим је преко одговарајућих аналогија омогућен прорачун одређених карактеристика у повољнијем графичком окружењу, што је потпуно нов приступ у овој области. Прорачунски симулациони модел аутор је креирао у графичком окружењу Multisim, где је сложени акустички систем, путем електро-акустичких аналогија, представио у облику електричног осцилаторног кола. Начин генерисања улазног сигнала промене притиска на устима цеви је поједностављен, док се вредности промене притиска у удаљеној тачки могу видети на виртуелном осцилоскопу.

Други модел је базиран на класичном систему диференцијалних једначина Навије-Стокса за динамичка струјања стишљивих флуида. За теоријска разматрања је систем једначина прилагођен према идентификованој природи струјања флуида. Наиме, код оваквих појава се одвијају нестационарни, нелинеарни и нехомогени процеси. Систем диференцијалних једначина је веома сложен и његово решавање је могуће једино нумеричким методама. За прорачун гасодинамичких карактеристика код оваквих процеса се, углавном, примењују RANS модели (Навије-Стоксове једначине чија су решења базирана на усредњеним вредностима Рејнолдсовог броја) за нестационарна струјања, што је и био случај у овој дисертацији. Кандидат је теоријски приказао методе нумеричких прорачуна, од дискретизације простора, начина промена у нумеричкој мрежи, до временске дискретизације и дефинисања критеријума стабилности нумеричког прорачуна. На основу теоријских поставки, аутор је приказао све поступке у креирању симулационог прорачунског модела, као и резултате прорачуна примарне гасодинамичке карактеристике. Овакве нумеричке технике имају одређених ограничења, на које је аутор скренуо пажњу, а првенствено се огледају у расположивим процесорским капацитетима, који су изузетно захтевни, због чега су у дисертацији разматрани само осносиметрични модели у дводимензионалном простору.

Поред прорачунских модела, кандидат је пројектовао и израдио два реална модела пригушивача, на којима је извршио експериментална испитивања. Експериментални подаци су били неопходни да би се извршила оцена понуђених прорачунских модела, односно да би се дала оправданост оваквих модела у примени пројектовања нових гасних уређаја. Експеримент је захтевао дефинисање методологије регистровања промена примарних гасодинамичких карактеристика ударног таласа, након опаљења оружја, са и без примене пригушивача. Методологијом су дефинисани мерни сензори активног типа на бази пиезоелектричног ефекта, погодни за регистровање динамичких процеса, број сензора и њихов међусобни положај, као и остали елементи у мерном ланцу (појачавач наелектрисања, сабирник сигнала и меморијска јединица). За реализацију експерименталних истраживања коришћени су сензори РСВ 137А 24 последње генерације, што указује да су добијени резултати релевантни и у великој мери репрезентују промене примарне гасодинамичке карактеристике ударног таласа у карактеристичним тачкама око оружја, у току процеса опаљења. Експериментална истраживања кандидат је извршио уз помоћ специјализоване екипе из Сектора за класична наоружања Војнотехничког института.

Обимна теоријска и експериментална истраживања спроведена у овом раду указују на то да, за успешно одређивање промена гасодинамичких параметара у процесу опаљења оружја, није довољно располагати само савременом опремом, већ су неопходни и специјализовани тимови стручњака и дефинисање методологије регистровања.

Као што је напоменуто, овај рад чини девет тематских целина, односно поглавља, тако разврстаних да буду међусобно повезана и да представљају једну целину. Сходно томе, наведена поглавља су сложена према следећем редоследу:

1. Увод
2. Опис рада пригушивача као акустички уређаји
3. Електро-акустичке и електро-механичке аналогije
4. Нумеричке методе прорачуна нестационарних гасодинамичких процеса
5. Моделовање симулационог процеса ударног таласа применом електро-акустичких аналогija и декомпозитног приступа
6. Моделовање симулационог процеса ударног таласа применом CFD нестационарних гасодинамичких процеса
7. Метода мерења натпритиска ударног таласа пуцња стрељачког оружја
8. Анализа модела и дискусија резултата
9. Закључак.

На почетку сваког поглавља дат је кратак увод у проблематику која се обрађује, а на крају сваког поглавља дат је кратак коментар добијених резултата.

Прво поглавље, осим наведених досадашњих истраживања и предмета рада, приказује и историјски развој пригушивача, као и моделе и принципе редукције.

У **другом поглављу** дефинисана је сама природа звука, сви елементи који се јављају у току процеса опаљења и представљају изворе звука, као и то од којих се све компоненти састоји сложени звук у току опаљења. Дефинисан је и принцип рада пригушивача, као акустички уређај-трансформатор. Декомпозитни принцип је детаљно математички описан, при чему су дате и смернице за његову примену.

Треће поглавље приказује електро-акустичке и електро-механичке аналогije, као и евентуалне примене у моделовању паралелних симулационих модела.

Четврто поглавље је посвећено нумеричким моделима, који имају примену у савременим CFD алатима за нестационарне гасодинамичке процесе.

Пето поглавље односи се на симулациони модел базиран на електро-акустичким аналогijaма и декомпозитном приступу, коришћењем Multisim софтвера, где су представљени резултати симулације.

Шесто поглавље приказује симулациони модел на бази CFD ANSYS Fluent софтвера, као и резултате симулације.

Седмо поглавље посвећено је моделима пригушивача и описана је метода мерења. Приказани су и резултати мерења на реалним моделима.

Осмо поглавље односи се на анализу резултата добијених симулационим моделима, при чему су и обављена њихова поређења са експерименталним. Сам приказ резултата је детаљно дискутован и дата су одговарајућа објашњења.

Девето поглавље представља закључак, у којем су потврђене постављене претпоставке, наглашен је научни допринос ове дисертације и дате су смернице за даља истраживања.

У задњем поглављу (Литература) дат је приказ библиографских јединица коришћених у овој дисертацији.

5. Научни резултати докторске дисертације

Кандидат Небојша Христов, дипл. инж. маш., је у оквиру ове докторске дисертације извршио систематизацију постојећих знања и искустава у области теоријског и експерименталног истраживања прелазне балистике, рачунске динамике флуида и акустике. У току израде предметне дисертације, кандидат је дошао до резултата и закључака који имају своје место и значај како у научно-теоријском, тако и у практичном смислу. Реализацијом истраживања у оквиру ове докторске дисертације дошло се до следећих резултата:

- Извршена је оптимизација математичких модела за симулацију битних параметара ударног таласа барутних гасова у току процеса опаљења.
- Извршен је одабир оптималне нумеричке методе и технике за прорачун битних параметара ударног таласа за вишефазни модел струјања флуида унутар нестационарног система.
- Дефинисана је методологија регистровања промене примарног гасодинамичког параметра у пољу око оружја у току процеса опаљења.
- Истраживање, као резултат предлаже нови приступ у фази пројектовања пригушивача пуцња за стрељачка оружја.

Постигнути резултати представљају научни допринос овог рада. Поред оптимизације аналитичких и нумеричких модела, дефинисана је методологија регистровања промене гасодинамичких параметара око цеви оружја. Оваквим приступом је обезбеђена поновљивост и универзалност одређивања промена параметара карактеристика ударног таласа истичућих барутних гасова у пољу око цеви за сва стрељачка оружја, што представља нови приступ у фази пројектовања гасних уређаја.

6. Применљивост и корисност резултата у теорији и пракси

У теоријском делу ове докторске дисертације дата су општа, а где је било неопходно и детаљна објашњења која су значајна за ову проблематику. Општа објашњења су дата ради лакшег разумевања основних појмова и појава, а детаљна објашњења појединих појава имају за циљ да послуже као основа за боље разумевање при анализи добијених резултата експерименталних истраживања. Значај теоријског дела ове дисертације огледа се у следећем:

- систематизован је преглед најновијих научних сазнања из ове области;
- детаљно је дат опис процеса у акустичком смислу и промена акустичких карактеристика таласа током проласка кроз акустички таласни трансформатор, односно пригушивач пуцња;
- приказана је могућност примене декомпонитног приступа за сложене акустичке системе, разлагањем на основне компоненте;
- описана је функција слабљења интензитета звука од удаљености за тачкасте изворе, као што је задњи пресек цеви;
- дати су основни појмови о фактору усмерености за тачкасте строго усмерене изворе, што је и случај код опаљења оружја;
- показан је начин примене формалних веза између одговарајућих електричних, машинских и акустичких система;
- описан је начин примене одговарајућих електро-акустичких аналогија за одређивање акустичких параметара;

- приказане су савремене нумеричке технике за прорачун гасодинамичких карактеристика код нестационарних нелинеарних и нехомогених процеса струјања гасова, што је случај код струјања барутних гасова након опаљења.

Ова теоријска разматрања служе као основа за разјашњење појединих феномена и примену техника за прорачун карактеристика у симулационим моделима. Посебан је значај теоријског дела овог рада будући да су приказана најновија сазнања из ове области, често недоступна истраживачима и инжењерима који почињу да се баве овим пословима.

Експериментална испитивања мерења гасодинамичких карактеристика струјања барутних гасова након опаљења оружја омогућила су да се:

- одреде одговарајући сензори за правилно регистровање промена примарног гасодинамичког параметра струјања барутних гасова након опаљења;
- дефинише методологија мерења, мерни ланац и начин обраде резултата;
- на основу регистрованих вредности установи природа ударних таласа и њихово распрострањење око оружја, како по правцу, тако и по растојању.

Такође, изведени су и следећи закључци:

- Симулациони модели на бази електро-акустичких аналогичности и декомпозиционог приступа показују добро поклапање са експерименталним резултатима. Средње одступање симулираних вредности у односу на средње измерене вредности је око 4,7% (за модел без пригушивача је 1,3%, за модел применом пригушивача тип 1 је 12,3% и за модел применом пригушивача тип 2 је 3,13%), што је за аналитичке методе изузетно добро поклапање;
- Код нумеричког симулационог модела, базираног на CFD Ansys Fluent 12.0 нестационарном моделу, за случај без пригушивача средње одступање максималних симулираних вредности, у односу на измерене, је око 3,7%. Симулација процеса применом пригушивача тип 1 даје средње одступање у односу на измерене максималне вредности око 1% (највеће одступање је за првац 45° на удаљености од 0,2 m и износи 1,8%, док су сва остала одступања мања). Поред максималних вредности, поређене су и промене притиска у карактеристичним тачкама по правцу, у функцији времена. На основу дијаграма промене се може закључити да су поклапања са измереним вредностима јако добра, како по интензитету, тако и по карактеру промене;
- Визуализацијом се уочава да резултати симулације у великој мери одговарају физичком процесу код опаљења оружја. Код симулационог модела није узето у обзир дејство пројектила, пошто је његов утицај изузетно мали и не утиче битно на максималне вредности притиска у референтним тачкама;
- Ограничавајући фактор за овај симулациони модел је процесорски ресурс, што је условило симулацију осносиметричних модела у 2D простору и занемаривање утицаја кретања пројектила. Могуће је креирање и симулационог модела за несиметричне пригушиваче у 3D простору, као и креирање пројектила покретним мрежама за простор око крутог тела уз адекватне процесорске капацитете.

Теоријска и експериментална истраживања дата у овом раду неоспорно ће допринети даљем развоју и већој примени понуђених симулационих модела у фази пројектовања нових гасних уређаја. У потпуности ће бити извршена имплементација усвојених знања и њихова примена у реализацији наставе на модулу Војномашинског инжењерства, првенствено кроз нове садржаје. Ти садржаји би обухватили курсеве савремених метода примене Нумеричке динамике флуида у пројектовању наоружања и савремене методе мерења у борбеним системима.

7. Начин презентирања резултата научној јавности

Један део научних резултата, произашлих при изради ове дисертације, делимично је већ верификован објављивањем одређеног броја научних радова у међународним и водећим националним научним часописима, као и на међународним и националним научним скуповима.

Комисија сматра да истраживања и још увек необјављени резултати ове докторске дисертације пружају обиман и корисан материјал за даље публикавање у међународним и водећим националним часописима и скуповима, који се односе на прорачун гасодинамичких карактеристика ударног таласа насталих истицањем барутних гасова из цеви оружја у процесу опаљења, са и баз примене пригушивача, као и у пољу пројектовања специјалних гасних уређаја оружја, односно подручју прелазне балистике.

На основу свега изложеног Комисија доноси следећи:

ЗАКЉУЧАК

Докторска дисертација кандидата Небојше Христова, дипл. инж. маш., у потпуности, како по обиму тако и по квалитету, одговара теми пријављене дисертације, одобрене одлуком бр. 01-1/475-4 од 19. 02. 2015. године, од стране Наставно-научног већа Факултега инжењерских наука у Крагујевцу.

Кандидат је у приказу истраживања користио уобичајену и стандардизовану стручну терминологију, а структура докторске дисертације и методологија излагања су у складу са универзитетским нормама.

За време израде докторске дисертације, кандидат Небојша Христова, дипл. инж. маш. је дошао до већег броја оригиналних резултата, приказаних у овој дисертацији, који представљају значајан допринос области која се односи на теоријско и експериментално истраживање прелазне балистике, рачунске динамике флуида и акустике, које служе за прорачун промена гасодинамичких карактеристика ударног таласа, насталог истицањем барутних гасова из цеви оружја након опаљења. Део тих резултата је објављен у научним радовима аутора, наведеним у оквиру овог Извештаја.

Кандидат је показао да влада методологијом научноистраживачког рада и да поседује способност системског приступа и коришћења литературе. При томе је, користећи своје професионално образовање и велико искуство, показао способност да овој сложеној проблематици приступи свеобухватно, у циљу дефинисања закључака и добијања конкретних и у пракси применљивих резултата.

Опсежна теоријска и експериментална истраживања у овој дисертацији изведена су с циљем да се дође до оптималних математичких модела за описивање процеса промена гасодинамичких карактеристика истичућих барутних гасова након опаљења. На основу презентованих математичких модела креирани су прорачунски симулациони модели, код којих се резултати прорачуна у великој мери поклапају са експерименталним. На основу валидације прорачуна се може закључити да се понуђени модели могу користити, осим за потребе едукације, и у поступку пројектовања гасних уређаја оружја. Поред теоријских разматрања, докторант је пројектовао и израдио два реална модела пригушивача, са којима је извршио експериментална истраживања. Дефинисао је методологију регистравања промене гасодинамичких параметара око цеви оружја. Оваквим приступом је обезбеђена поновљивост и универзалност одређивања промена параметара карактеристика ударног таласа истичућих барутних гасова у пољу око цеви, за сва стрељачка оружја. Након експерименталних истраживања, може се закључити да је кандидат дошао до значајних оригиналних резултата и решења која се могу применити за пројектовање различитих врста гасних уређаја оружја.

На основу свега изнетог, Комисија за оцену писаног дела и усмену јавну одбрану докторске дисертације кандидата Небојше Христова, дипл. инж. маш., једногласно је закључила да докторска дисертација под насловом:

"Утицај промене гасодинамичких карактеристика барутних гасова на интензитет натпритиска применом специјалних гасних уређаја оружја"

по квалитету, обиму и резултатима истраживања у потпуности испуњава све научне, стручне и законске критеријуме за израду докторске дисертације. Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Факултета инжењерских наука у Крагујевцу, да овај Извештај у потпуности прихвати и закаже јавну усмену одбрану наведене дисертације.

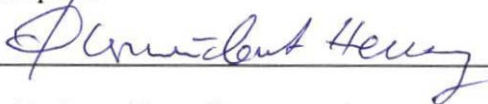
У Крагујевцу и Београду, октобра 2015. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

1. Др Ненад Филиповић, ред. проф.

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Уже научне области: Примењена механика, Примењена информатика и рачунарско инжењерство



2. Др Љубиша Танчић, ред. проф.

Висока школа за пројектни менаџмент Београд


Ужа научна област: Балистика



3. Др Слободан Илић, ванр. проф.

Војна академија Универзитета одбране у Београду


Ужа научна област: Механика наоружања



4. Др Александар Кари, доцент

Војна академија Универзитета одбране у Београду

Ужа научна област: Механика наоружања



5. Др Слободан Савић, ванр. проф. (ментор)

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Уже научне области: Примењена механика, Примењена информатика и рачунарско инжењерство

