

пк ванр. проф. др Дамир Јерковић, дипл. инж. – председник,
пк ванр. проф. др Небојша Христов, дипл. инж. – члан,

Оцена докторске дисертације студента
пп Дарка Јанковића, маст. инж.
извештај, доставља.-

**Већу за техничко – технолошке и
природно – математичке науке
Војне академије**

Одлуком Наставно-научног већа Војне академије, број 07/55 од 27.02.2026. године, акт број 1169-42 од 02.03.2026. године, именовани смо у комисију за оцену и одбрану докторске дисертације потпуковника Дарка Јанковића, маст. инж., под називом:

**„Прилог развоју оптичких метода за одређивање параметара интеракције
пројектила и препрека различитих карактеристика”**

На основу члана 10. Правилника о пријави, изради и одбрани докторске дисертације и промоцији доктора наука („СВЛ”, бр. 36/2021), члана 10. став 4. Правилника о пријави, изради и одбрани докторске дисертације и промоцији доктора наука („СВЛ”, бр. 14/2022) и члана 10. став 12. Правилника о пријави, изради и одбрани докторске дисертације и промоцији доктора наука („СВЛ”, бр.07/2024), а након прегледа достављене дисертације и примедби на комплетност извештаја датим у Закључку Већа за ТТ и ПМН број 622-52 од 01.04.2026. године, подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Основни подаци о докторанду и докторској дисертацији

1.1. Подаци о докторанду

- Име и презиме: Дарко Јанковић
- Датум и место рођења: 11.04.1981. године, Аранђеловац, Р. Србија
- e-mail: darkoojanko@gmail.com
- Претходно образовање:
Основне академске студије: Војнотехничка академија, Београд, смер Ваздухопловнотехничка служба, специјалност Ваздухоплови и мотори, просечна оцена 8,93.
Мастер академске студије: Универзитет Сингидунум Београд, мастер инжењер менаџмента, просечна оцена 9,43.
Докторске академске студије уписао: школске 2016/2017. године
- Професионални статус (занимање/чин): потпуковник, запослен у Војној академији Универзитета одбране Министарства одбране Републике Србије, од 2005. године.

1.2. Подаци о докторској дисертацији

- Назив: Прилог развоју оптичких метода за одређивање параметара интеракције пројектила и препреке различитих карактеристика.
- Научна област: Машинско инжењерство.

- **Ужа научна област:** Системи наоружања.
- **Обим:** Дисертација има укупно 153 странице (од чега је 19 страница садржаја и прегледа, док је 134 страница текста), организованих у 8 поглавља, садржи 114 референци, 20 табела и 74 илустрација (слика и дијаграма).
- **Кључне речи:** пројектили, грануларни материјали, оптичке методе, пренос енергије, балистика.

1.3. Подаци о ментору

- Име и презиме: Дарко Васиљевић.
- Звање: научни саветник.
- Датум избора у звање: 27. 11. 2018. године.
- Област: Природно-математичке науке – Физика.
- Установа запослења: до 21. 09. 2025. године радио у Институту за физику Универзитет у Београду (пензионисан 21. 09. 2025. године).

2. Предмет и циљ докторске дисертације

Кандидат је као предмет истраживања ове дисертације дефинисао утврђивање предности коришћења оптичких метода за анализу дејства пројектила на препреке различитих материјала и структуре, што одговара предмету дефинисаном пријавом теме. У оквиру истраживања, било је потребно нагласити примену оптичких метода и представити њихову оцену примене, компаративно у односу на друге методе, које се користе за планирана истраживања.

Наведена предност примене оптичких метода је делимично потврђена кроз спроведена аутентична експериментална испитивања; при чему су добијени резултати показали њихову могућност примене, али ограничену поузданост у испитивању интеракције пројектила са различитим материјалима и структурама препрека.

Испитивања су показала могућност примене снимања дејства тела пројектила (дијаболе) испалених из ваздушног наоружања (ваздушна пушка и ваздушни пиштољ) са брзинама од око 120 до 250 m/s, на препреке састављене од грануларне материје (песак различитих гранулација и састава) током испитивања пројектила. Снимања су реализована са дигиталним фотоапаратом са брзином снимања од 40 слика у секунди.

Испитивања са пројектилима стрелачког наоружања од око 700 до 900 m/s, која се користе за војну примену, су показала немогућност примене претпостављене методе, поред коришћења оптичке опреме са већом брзином снимања (непознато је који је број слика у секунди коришћен у раду). Анализа резултата дејства стрелачких пројектила на препреке различитих материјала и комбинација се заснивала на снимцима снимљеним термовизијском камером у дужем временском интервалу.

Метода на којој је засновано прикупљање података, снимање фотографија и даља обрада није у раду јасно представљена, а референтни извор на који се позива нема јасно описан поступак или методу.

Основни циљ истраживања да се применом математичког модела за обраду слике анализирају резултати испитивања дејства пројектила на препреке различитих врста материјала, као и да се добијени резултати упореде са резултатима других метода ради оцене предности примењених поступака у одређивању параметара интеракције пројектила и препрека делимично је испуњен. У раду су резултати експерименталних мерења обрађени оптичким и термовизијским снимањима, а интерпретирани су у односу на математички модел. Представљена је делимична компаративна анализа различитих типова препрека од грануларних материјала. Нису анализирани резултати у односу на друге методе, као што су нумеричке и аналитичке, као ни у односу на сличне експерименталне методе из референтних истраживања.

У складу са дефинисаним оквиром истраживања, у којем су наведени различити типови материјала и предвиђено испитивање интеракције пројектила са одабраним класама, експериментална анализа у дисертацији усмерена је на грануларне материјале, при чему су разматрана три одабрана материјала различитих гранулација. Класификација коришћених грануларних материјала, код експерименталних испитивања ваздушним наоружањем, која се односи на три одабрана типа грануларних материјала (песак) није у потпуности јасно дефинисана, а њихово појмовно одређење не одговара нивоу истраживања и рада, и користи терминологију, која је колоквијалног типа.

Класификација коришћених грануларних материјала, код експерименталних испитивања дејства пројектила испалених из стрељачког наоружања, која се своди на три врсте песка по општој гранулацији и везива у случају формирања плоче, није јасно дефинисана (илустрације или слике), односно без прецизног објашњења, које је повезује са коришћеним материјалима и условима експерименталне реализоване са пројектилима испалених из ваздушног наоружања на препреке са грануларним материјалима.

Анализа је извршена на два нивоа и приказани су добијени резултати засновани на оптичком снимању и дигиталној обради података. Модел дигиталне обраде података није представљен директно или индиректно у раду.

Истраживање је реализовано је кроз следеће фазе:

- прикупљање и анализа дела научних и стручних радова и студија из области истраживања;
- представљање дела постојећих истраживања модела динамичког процеса интеракције крутих тела са препрекама и материјала;
- представљање постојећих оптичких метода за истраживање динамичких процеса;
- представљање дела коришћене експерименталне опреме и опис процедура за експериментални део истраживања;
- представљање оптичких метода одабраних за снимање током испитивања;
- испитивање гађањем у неколико фаза са различитим параметрима пројектила и материјала препреке;
- експеримент снимања дејства пројектила ваздушног наоружања (дијаболе) брзина до 250 m/s на препреку од грануларног материјала (песак различитих гранулација);
- експеримент дејства пројектила аутоматских пушака калибра 5,56 mm и 7,62 mm на различите типове препрека (панцирна плоча, препрека од грануларних материјала, плоча гарнулата са везивом и њихове комбинације);
- прикупљање и обрада добијених резултата;
- реализована је делимична анализа заснована на оптичким методама снимања са брзим и термовизијском камером, при чему су резултати временски праћени и обрађени одређеним софтверским алатом ради увида у динамику процеса.

Није вршено директно и систематско поређење оптичких метода са другим, независним мерним методама, јер у оквиру експеримента није спроведено паралелно мерење истих физичких величина помоћу различитих типова (нпр. не-оптичких) инструмената у истим условима и у истом временском оквиру. Тзв. „друге методе“ у раду су дате у виду допунских извора података и различитих начина интерпретације резултата, а не као потпуно независни мерни системи за директну компарацију.

Ово ограничење је последица експерименталних услова и природе испитиваних брзих процеса, где је приоритет дат вишој временској резолуцији и не-деструктивном мерењу, што оптичке методе чини примарно најпогоднијим алатом. Због тога је анализа фокусирана на унутрашњу компарацију оптичких техника и различитих сценарија оптерећења, а не на паралелно мулти-сензорско мерење исте величине.

- класификација ефеката дејства пројектила при интеракцији са препреком, на основу дефинисаних појмова (удар, облак и ерозија);
- упоредна анализа експерименталних резултата током истраживања;
- дефинисање закључака и смерница за будућа истраживања.

У теоријском смислу, истраживање је допринело бољем разумевању механизма прерасподеле енергије, посебно кроз анализу термовизијских и записа са брзе камере, као и кроз поређење понашања различитих материјала (песак, бетон и панцирни прслук). Ови резултати оправдавају поступке примене оптичких метода у експерименталним истраживањима интеракције пројектила и препрека.

У практичном смислу, примена оптичких поступака снимања брзом и термовизијском камером показала су потенцијал за праћење брзих процеса у погледу временске резолуције и визуелизације динамике удара.

3. Основне хипотезе

У складу са предметом научног истраживања и дефинисаним циљевима, кандидат је формулисао општу хипотезу научног истраживања и три посебне хипотезе.

Општа хипотеза истраживања дефинисана је као: „Поуздана и стандардизована методологија за проучавање феномена брзих механичких процеса интеракције пројектила са препрекама различитих структура и материјала може се дефинисати применом оптичких метода, уз коришћење одговарајућих математичких и експерименталних поступака.“

У оквиру истраживања примењен је експериментални приступ заснован на оптичким методама, снимања процеса удара са брзим и термовизијским камерама. Поступак је делимично илустрован шемом рада и малим бројем фотографија експеримента. Након снимања урађена је временска анализа података ради оцене поступка праћења и анализе брзих механичких процеса.

У раду се наводи да је извршена софтверска обрада фотографија. Нема јасно дефинисаног поступка нити представљеног модела обраде фотографија.

Систематично су испитане различите комбинације пројектила малих маса и брзина (ваздушно наоружање) и препрека од грануларних материјала препрека, што доприноси репрезентативности и могућности примене описаног поступка.

Пошто је представљен као нов приступ, може се посматрати као развијен и функционално конзистентан поступак са одређеним степеном поузданости, још увек у фази научно-методолошког усавршавања, тако да се у раду не наводи као тзв. „стандардна методологија“.

Закључак изведен из резултата истраживања није приказан у односу на релевантне резултате или слична истраживања, ради евентуалне потврде поузданости.

У раду није у потпуности представљена поуздана методологија испитивања брзих процеса, јер је део резултата испитивања дејства пројектила из стрељачког наоружања на препреке добијен само снимањем термалном камером, проценом промене температуре, док резултати нису упоређени са другим могућим изворима истраживања сличних или истих појава.

У оквиру научног истраживања разматране су три посебне хипотезе, и то:

- Постоји могућност одређивања параметара дејства пројектила на препреку применом одговарајућих математичких модела;
- Постоји могућност експерименталног одређивања параметара дејства пројектила на препреку применом специјалних оптичких метода;
- Могуће је, на основу темељне анализе добијених експерименталних и прорачунских резултата, дефинисати поуздану методологију за одређивање параметара дејства пројектила на различите врсте препрека.

Наведене хипотезе проверене су на основу спроведене детаљне анализе резултата добијених експерименталним испитивањем без поређења са резултатима одређеним прорачунским моделима. Нису упоредно представљени резултати са истим или сличним величинама из актуелних референтних истраживања.

За верификацију прве хипотезе коришћен је класични модел кретања пројектила, ради одређивања брзине кретања на мети, у случају испаливања из ваздушног наоружања. Главни резултат модела је брзина у тренутку контакта са метом и из ње изведена кинетичка енергија, која је употребљена као кључна величина за даљу анализу расподеле енергије у грануларној мети. На основу познате кинетичке енергије пројектила у тренутку удара прорачунате су: енергија сабијања, инерцијална енергија, енергија трења, енергија предата мети, енергија утрошена на деформацију пројектила, енергија трансформисана у топлоту, енергија механичких вибрација у мети, као и преостала енергија након удара. Међутим, није непосредно приказано на основу којих полазних вредности у моделу кретања су добијене вредности брзина на мети.

Упоредна анализа показала је подударане израчунате и експерименталне енергије сабијања грануларне материје, што потврђује да предложени модел омогућава релативно поуздано одређивање параметара дејства пројектила малих брзина на препреку са грануларним материјалом и представља валидну основу за наредне фазе истраживања.

Ради верификације друге хипотезе спроведено је бројно експериментално истраживање ефеката удара пројектила из ваздушног и стрељачког наоружања на грануларне материјале различитих гранулација и физичког стања. Испитивања су изведена у лабораторијским и полигонским условима, уз примену брзих и термовизијских камера као основних оптичких инструмената за снимање и анализу процеса удара.

У оквиру прве фазе истраживања реализовано је гађање из ваздушне пушке Steyr LG 110 и ваздушног пиштоља LP 10, дијаболама различите геометрије врха и почетним брзинама од 240 m/s и 160 m/s. Снимање је обављено дигиталним фотоапаратом „Panasonic DMC-FZ200“ при брзини од 40 слика у секунди (40 fps), чиме је омогућена визуелна анализа дејства дијаболе у песак различите гранулације и под различитим угловима дејства (0° и 22°).

У другој фази истраживања, спроведеној на полигону Техничког опитног центра Никинци, коришћене су опитне цеви стрељачког оружја АП М70 (систем метка 7,62×39 mm) и АП М21 (систем метка 5,56×45 mm); при чему је процес удара сниман ултрабрзом камером Phantom v9.1 (није наведено у ком режиму је вршено мерење, односно снимање) и термовизијском камером FLIR SC 620. Комбиновањем оптичке визуелизације и термалне анализе добијени су подаци о брзини распршивања грануларне материје, расипања енергије и температурним променама унутар структуре препреке. Због велике брзине пројектила није било могуће добити снимке брзом камером на начин, који је дефинисан и развијен за пројектиле испаливане из ваздушног наоружања, док су снимци термовизијском камером омогућили одређени ниво анализе удара пројектила у мету.

На основу спроведене анализе експерименталних мерења са обрађеним резултатима, може се закључити да је трећа хипотеза делимично потврђена. Комбиновањем експерименталних испитивања дејства пројектила на различите врсте препрека од грануларног материјала (песка) добијен је скуп података који омогућава дефинисање параметара процеса продора дијаболе у грануларни материјал (песак). Корелацијом између измерених и прорачунатих вредности дубине продора, расподеле енергије и геометрије кратера утврђена је стабилна зависност између посматраних карактеристика пројектила (брзина, маса и облик) и физичких својстава препреке (густина и гранулометрија) за случај малих брзина до 240 m/s. На основу тога развијена је и делимично верификована методологија за одређивање параметара дејства пројектила облика дијабола (брзина до 240 m/s), којим се претпоставља да се може применити на различите типове материјала.

Као битно ограничење идентификовани су брзина пројектила и његова кинетичка енергија. Коришћени поступак показао се као адекватан за брзине до око 250 m/s и кинетичке енергије до око 15 J. Брзине преко 750 m/s и кинетичке енергије преко 2000 J показале су се превеликим за примењени поступак, услед чега нису добијени смислени резултати.

4. Кратак опис садржаја докторске дисертације

Дисертација је организована кроз осам поглавља:

- Поглавље 1 – Увод: У овом поглављу дат је врло кратак преглед оптичких метода за војну примену. Објашњено је да оне омогућавају анализу брзих феномена и параметара интеракције пројектила и препреке. Посебан акценат стављен је на физику грануларних материјала и на могућност да се њихово понашање под ударом пројектила разуме и искористи у функцији балистичке заштите. Полазећи од тога, дефинисана је потреба за ослањањем на савремене методе визуелизације и мерења као основу за даља истраживања и анализу резултата у наставку дисертације. Овај део дисертације нема представљен циљ, задатке, хипотезе и очекиване резултате и допринос истраживања.
- Поглавље 2 – Преглед истраживања и метода одређивања дејства пројектила на различите врсте препрека: У поглављу је дат преглед литературе и део савремених приступа у проучавању дејства пројектила на различите типове препрека, са кратким прегледом испитивања чврстих мета. Велики део овог поглавља се ослања на један од уџбеника реферисан у литератури са [1]. Дат је кратак преглед новијих истраживања дејства пројектила на керамичке и композитне материјале и панцирне челике, материјале за израду балистичке заштитне опреме и дејства на грануларне материјале. Наведени су механизми интеракције пројектила и препреке, укључујући начине апсорпције и дисипације енергије у грануларној подлози. Дат је преглед општих метода одређивања параметара процеса (емпиријски, аналитички и нумерички приступ), као и типичне величине које се прате у експериментима. Поред тога, наглашене су технике визуелизације и мерења релевантних параметара као што су брзина, убрзање и дубина пенетрације, уз примену оптичких и термовизијских система. Представљени су неки од поступака из литературе који су старији од 50 година. Постоје одређене термилошке и правописне грешке.
- Поглавље 3 – Оптичке методе – војна примена: У овом поглављу представљена је примена оптичких метода за праћење удара пројектила у грануларну препреку, кроз поступке снимања ултрабрзом, брзом и термовизијском камером. Ултрабрза камера омогућава детаљно бележење тренутка удара, кретања честица, ширења ударног фронта и релаксације узорка након пробоја, док термовизијска камера омогућава визуелизацију температурних поља током интеракције пројектила и подлоге. На основу термовизијских записа могуће је анализирати пренос енергије и проценити улогу грануларног материјала (песка) као потенцијалног заштитног слоја. Посебно је истакнуто да су ове технике бесконтактне, неразорне и погодне за поновљива лабораторијска испитивања, уз мање трошкове и једноставнију реализацију у односу на класичне методе као што су фотоеластичност, холографија или мерење сензорима. Дат је преглед основа термовизије, принципа рада, типова система и кључних компоненти термовизијских уређаја, као и кратак приказ генерација уређаја. Такође је објашњена улога брзих и ултрабрзих камера, њихова структура и ограничења, као и типичне примене у балистици и анализи брзих динамичких процеса. На крају је дат осврт на друге познате оптичке методе у војној примени (интерферометрија, холографска интерферометрија, спекл метрологија и фотоеластичност) и њихове предности и ограничења у испитивању удара и оштећења. Део овог поглавља се ослања на материјал уџбеника дат у литератури рада под [77]. Постоје одређене термилошке и правописне грешке у тексту и на сликама, као и квалитету илустрација.

- Поглавље 4 – Математички алати: У овом поглављу приказано је да је удар пројектила у грануларну материју сложен феномен који захтева мултидисциплинарни приступ и примену „симулационих“ техника. Дат је приказ нумеричких метода, које се користе за моделовање (DEM, FEM, SPH и MPM), односно њихова комбинације у оквиру савремених нумеричких софтвера (CFD–DEM, GFS, OpenFOAM, LIGGGHTS). Дат је преглед најзначајнијих софтверских пакета и њихових намена: LIGGGHTS и LAMMPS за грануларне системе, Abaqus и ANSYS за брзе динамичке ударе и велике деформације, Chrono:Engine за механичке и контактне симулације, као и DualSPHysics за SPH приступ. Поред основних алата за симулацију, наведени су и помоћни алати за визуализацију и обраду података (ParaView, Python) и за визуелне симулације (Blender), са информацијама о њиховој примени. У оквиру дисертације описане су три кључне појаве: кретање пројектила до мете, пренос енергије при удару у грануларну мету и реакција гранулата након удара. За прорачун кретања пројектила у циљу одређивања брзине непосредно пре удара коришћени су модели прорачуна кретања пројектила без представљених полазних података (за ваздушно и за стрелачко наоружање). Они су послужили за одређивање кинетичке енергије пројектила пре удара. За анализу релаксације и морфолошких промена површине песка, представљено је да је коришћен код у програмском језику C++ уз примену OpenCV библиотеке, кога нема у прилогу или у раду. На основу овог кода је објашњено да је вршено праћење кретања зрна из серије снимака. Такође објашњено је да је овај поступак послужио да се из фотографија (снимака) дефинишу посебни облици процеса интеракције пројектила са препреком састављеном од грануларног материјала (песак са три различите структуре зрна), који су названи „облак”, „рупа”, „ерозија” и „енергија“. Једначине кретања, којима је представљен модел кретања пројектила се понављају неколико пута, а представља део из литературе [96], која се појављује и под редним бројевима [16] и [94]. Идентичан израз за кинетичку енергију се појављује неколико пута. На слици 4.1 је дат изглед корисничког интерфејса за унос података за прорачун кретања без објашњења потребних величина, без наведеног кода или илустрације полазних вредности или резултата. Приказани део модела у поглављу 4.2.2 је дат без прецизног навођења потребних полазних података и илустрације или демонстрације резултата. У поглављу 4.3 је дефинисан основни модел расподеле енергије удара према изворима литературе, [1] и [96] са распонима вредности параметара датим у табели 4.2. Није наведен извор коришћених вредности и описаних карактеристика различитих врста грануларног материјала – песка. Појмовно непрецизан термин је коришћен за врсте материјала. У овом делу се наводе подаци везани за реализацију експеримента. У поглављу су несистематски наведени делови поглавља. У делу поглавља где је описан поступак реакције гранулата након удара дати су улазни подаци, претпоставке и главне операције, које користи математички модел. Иако је описано шта математички модел одређује, нема прецизног навођења модела или једначине, нити објашњења у вези са илустрацијама датим на сликама. Представљена слика 4.3 не пружа довољно информација, а објашњења у вези са сликом се позива на извор литературе [59] који не садржи додатне информације.
- Поглавље 5 – Експериментални део истраживања: Експериментални део истраживања представљен је прелиминарним испитивањем у „пиштољској стрелани“ Војне академије, са циљем да се анализира утицај пројектила мале кинетичке енергије на песак различите гранулације. Коришћени су ваздушна пушка и ваздушни пиштољ STEYR (LG 110 и LP 10), при даљини гађања 15 m и брзинама пројектила од 160 до 240 m/s, као и два типа дијабола (са равним и купастим врхом). Мете су биле дрвени рамови истих димензија, пуњени истом количином песка, при константној температури, док је угао дејства мењан између 0° и 22° померањем стрелца. Снимање је реализовано фиксним фотоапаратом „Panasonic DMC-FZ200“, чиме је обезбеђена репродуктивност услова и прикупљени су визуелни подаци за анализу удара и понашања грануларне материје. Након снимања, анализирани су кадрови удара за три врсте песка, уз увођење параметара специфичне

густине и гранулације као релевантних карактеристика материјала. Након тога је представљено да је реализовано испитивање дејства пројектила стрелачког наоружања (аутоматске пушке 7,62 mm M70 и 5,56 mm M21) у познатим условима. Током овог испитивања препрека је била балистичка плоча од Кевлара, као и комбинација ове плоче са плочом одређеног грануларног слоја испред, односно грануларним материјалом у везиву. Извршено је поређене препреке од слободног гранулата и гранулата везаног цементом у трослојним панелима, како би се проценио утицај структуре на дисипацију енергије. Динамика удара и термални ефекти праћени су брзом камером „Phantom v9.1“ и термовизијском камером „FLIR SC 620“, а добијени снимци су након тога анализирани у програму, који је развијен у програмском језику C++ уз коришћене „OpenCV“ библиотеке и програму „FLIR ResearchIR MAX“ ради праћења кретања зрна и процеса релаксације. За ове наведене програме нема приказаних извора материјала. У овом поглављу о експерименталном истраживању описана су испитивања са различитим препрекама, пројектилима и брзинама. Недостаје прецизна шема и план мерења посебно за испитивања са пројектилима стрелачког наоружања. Број аутентичних фотографија са испитивања пројектила ваздушног наоружања је изузетно мали. Недостају оригиналне фотографије снимања наведеном брзом... и термовизијском камером. Дијаграми зависности описаних појава су представљени са сликама врло малих димензија, са резултатима представљеним изломљеним линијама, стила и облика, које одају утисак одсуства потпуног систематског приступа. Постоји велики број понављања описа резултата датих на дијаграмима, као и правописне и термилошке неправилности. Табеле са карактеристикама опреме коришћене за испитивања садрже велики део података, који се не односи на предмет истраживања и чине да рад не изгледа систематски истражен.

- Поглавље 6 – Резултати и анализа резултата: У овом поглављу приказани су резултати испитивања дејства пројектила из ваздушног и стрелачког оружја на грануларне и чврсте препреке, уз навођење да су обједињена три независна извора података: прорачун брзине пројектила до циља, анализе снимака у „C++/OpenCV“ и термовизијских записа у „FLIR ResearchIR MAX“. На основу измерених, односно израчунатих брзина непосредно пре удара одређена је укупна кинетичка енергија и распоређена на компоненте (пенетрација, деформација, топлота, вибрације/звук и преостала енергија), у зависности од типа мете и услова гађања. Код ваздушног оружја, оптичком анализом су квантификоване грануларне појаве „облак“, „удар“ и „ерозија“ као индиректни показатељи преноса енергије, при чему се показало да врста песка и облик врха дијаболе значајно утичу на динамику дисипације, док угао дејства више мења ток процеса него коначни поредак материјала. Експериментално изведена енергија на основу запремине и просечне брзине избациваних зрна показала је добро слагање са прорачунатом енергијом сабијања код крупног песка, док су код ситнијих гранула одступања већа због немогућности прецизног одређивања брзина честица. Код стрелачког наоружања (7,62 mm и 5,56 mm), снимци нису били погодни за исту типологију појава као код пројектила из ваздушног оружја, па је интерпретација дисипације енергије ослоњена пре свега на снимке добијене термовизијском камером, која се тумачи кроз промену температурне разлике у времену. Термовизијски резултати показују да „песковита баријера“ испред „панцирне плоче“ даје најизраженији и продужени термални одговор услед унутрашњег трења и судара зрна, док бетон (гранулатни панел са везивом) показује умеренији термички скок, али већу структурну стабилност и дубљу апсорпцију енергије. Укупно посматрано, грануларни материјали имају одређени потенцијал као адаптивни слој у вишеслојним заштитним системима, при чему ефекат зависи од гранулације, конфинације (везива), облика врха и енергетског нивоа пројектила. Овде је изостала анализа или поређење са одређеним референтним подацима, ради потврђивања поузданости добијених резултата и оцене стања.

- Поглавље 7 – Закључак: У овој докторској дисертацији је показано да грануларна материја (песак) има изражену способност дисипације енергије удара пројектила кроз сабијање, трење и унутрашње сударе зрна, при чему се део енергије трансформише у топлоту, што је потврђено термовизијским мерењима. Код пројектила мањих енергија гранулат може да делује као ефикасан дисипативни слој који значајно утиче на смањење продора и на расподелу енергије унутар мете. Код високих енергија грануларна баријера не спречава пробој, али мења механизам преноса енергије и смањује локализовано општењење, посебно у комбинацији са чврстим заштитним слојем. Утврђено је за случај малих енергија (пројектила малих маса и брзина) да на ефикасност највише утичу гранулација и структура гранулата, као и облик врха пројектила, док угао удара углавном мења динамику процеса, али не и коначни поредак дисипативних способности материјала. Комбиновањем прорачунског модела и оптичких метода могуће је поуздано одређивање параметара удара у домену нижих брзина и енергија, док за домен стрелачког наоружања ови поступци захтевају сложенију експерименталну поставку и напредније мерење. На основу добијених резултата закључује се да грануларни материјали имају одређени потенцијал као адаптивни и модуларни елемент у вишеслојним системима балистичке заштите, уз потребу даљег оптимизовања дебљине слоја, гранулације и начина конфинације (везивање/затварање) у зависности од нивоа потребне примене. Нема приказане анализе добијених резултата у односу на друге изворе или поступке истраживања.

5. Остварени резултати и научни допринос докторске дисертације

Кандидат потпуковник Дарко Јанковић је у оквиру докторске дисертације остварио ограничене научне резултате истраживања у областима интеракције пројектила са препрекама од грануларних материјала, као и примену оптичких метода и обраде слике у анализи брзих динамичких процеса.

У истраживању је кроз примену оптичке методе снимања са брзим и термовизијским камерама омогућено временско праћење процеса удара, као и квантитативна и квалитативна анализа параметара као што су промена у геометрији места удара и околини, промена температуре, динамика расипања енергије и временски ток релаксације система. Ови резултати показују предности оптичких метода у односу на друге приступе у погледу визуелизације, временске прецизности и могућности праћења брзих појава, без квантитативне или квалитативне оцене те предности.

У раду су предности оптичких метода показане кроз интерну анализу добијених података и поређење различитих услова експеримента. Поређење са другим мерним вредностима, односно са другим методама, као што је нумеричка анализа, обезбедила би потпунију процену поузданости и провере добијених резултата, који у раду недостају.

Остварени резултати који утичу на научни допринос су следећи:

- Развијена методологија заснована на оптичким методама за проучавање процеса интеракције пројектила малих брзина са препрекама од грануларних материјала са релативно великим временским кораком, кроз обраду и интерпретацију резултата дала је полазну основу за анализу могућности примене овог поступка.
- Уведен је једноставан енергетски биланс интеракције пројектила и грануларне мете кроз прорачун карактеристичних компоненти енергије (енергија сабијања, трења, деформације, енергија предата мети), што омогућава одређену анализу расипања енергије током удара.
- Спроведено је експериментално истраживање удара пројектила из ваздушног наоружања на грануларне материјале различитих гранулација, у лабораторијским условима, уз примену брзих камера као основних мерних средстава за визуелизацију процеса.

- Представљена је методологија квантитативне анализе карактеристичних облика понашања грануларног материјала након удара пројектила малих брзина, дефинисањем следећих појава: „облак” (моментално распршење односно подизање материјала), „рупа” (тренутно измештање материјала из зоне удара) и „ерозија” (накнадно реорганизовано кретање зрна). Допринос представља временска анализа наведених појава, којом је омогућено разумевање трансфера енергије од почетне концентрације до стабилизације унутар грануларне структуре материјала за случајеве пројектила малих брзина испалених из ваздушног наоружања.
- На основу упоредне анализе прорачунских резултата из експерименталних мерења утврђен је домен примене предложене методологије у зависности од брзине пројектила и кинетичке енергије, при чему је показано да је приступ адекватан само за ниже брзине и енергије (до приближно 250 m/s и 15 J). Примена методе за високе брзине и енергије (реда величине преко 750 m/s и 2000 J) није дала смислене резултате.
- Анализа резултата температуре добијених термовизијском камером пружила су додатне информације, указујући на значај термалног одзива услед трења и унутрашњих судара зрна, чиме је показано да грануларни медијум учествује у трансформацији енергије у термичком облику.

Примењен балистички модел за прорачун брзине кретања дијаболо испалене из ваздушног наоружања, ради одређивања брзине у тренутку контакта са метом и кинетичке енергије као кључне величине за даљу анализу није посебно представљен у раду, али је коришћен као основа за прорачун процену расипања енергије. Нису представљени коришћени подаци о аеродинамичком коефицијенту дати једначинама кретања, нити су представљени наведени кодови.

Сprovedено експериментално истраживање удара пројектила из стрелачког наоружања на препреке од грануларних материјала у комбинацији са балистичким плочама у полигонским условима, уз примену брзих камера није дало резултате, који су се очекивали на основу прелиминарних истраживања са ваздушним наоружањем. На основу резултата снимања термовизијском камером, представљена је делимична анализу процеса са становишта промене температуре и без суштинског образложења или референтних поређења са сличним процесима механике удара брзих пројектила за које се користи балистичка заштита.

Иако је спроведено експериментално истраживање удара пројектила из ваздушног наоружања на грануларне материјале различитих гранулација урађено уз примену брзих камера као основних мерних средстава за прикупљање података за анализу, није јасно дефинисан модел прорачуна објашњених процеса из добијених слика.

У раду је наведено да је извршена дорада постојећег математичког модела и прилагођавање C++ алата за обраду видео-записа, ради омогућавања прецизније и репродуктивне обраде експерименталних снимака за добијање квантитативних показатеља који описују динамику грануларне мете након удара. У раду није приказан постојећи математички модел нити је описано, како је наведено прилагођавање алата.

Основни допринос докторске дисертације огледа се у примени оптичких поступака снимања процеса са квантитативном анализом интеракције пројектила испалених из ваздушног наоружања на препреке од грануларних материјала. Дефинисани су одређени нови параметри за опис овог процеса за случај удара пројектила малих брзина испалених из ваздушног наоружања у препреке са грануларним материјалом, без поређења са механичким моделима сличних истраживања.

Неки од извора литературе који се спомињу у уводу се непрецизно реферишу:

- Позивање на изворе литературе у којима су описани другачији материјали од наведених.

- Позивање на извор литературе о панцирним челицима, док је референца о балистичкој заштити за појединца, према NIJ стандарду без панцирних челика.
- Навод уџбеника о балистици се понавља три пута у литератури, а односи се на кључне делове истраживања.
- Наводи о савременим резултатима истраживања се ослањају на уџбенике и монографије.

6. Објављени и саопштени научни резултати који чине саставни део докторске дисертације

Резултати истраживања проистекли из ове докторске дисертације објављени су у следећим научним радовима,

Објављени радови којима се доказује услов за одбрану докторске дисертације:

- [1] Janković DD, Pavlović SM, Nikolić ZM, Tomić LD, Jerković DD, Vasiljević DM. Using image analysis to determine the energy transfer profile of a projectile impact in a granular substrate. *Science of Sintering* 2025; DOI: 10.2298/SOS250210024J (M22), online first.

Остали објављени радови који су повезани са садржајем докторске дисертације:

- [2] Janković D, Simović Pavlović M, Nikolić Z, Tomić Lj, Vasiljević D. Is The Thread Posed by Air Weapons Underrated – Analysis of the impact of a projectile fired from an air rifle on a sandy substrate, ARCHIBALD REISS DAYS; 2023; Belgrade, Serbia. (M34).
- [3] Janković D, Simović Pavlović M, Pagnacco M, Nikolić Z, Bokić B, Kolarić B, Tomić Lj, Vasiljević D. Revealing self-organization of granular matter: From fundamental physics to military technology applications. *Proceedings of the General Scientific Meeting, Belgian Physical Society*; 2023 May 17; Namur, Belgium. Namur: Belgian Physical Society; 2023. p. CMN1–CMN1. (M33).
- [4] Simović Pavlović M, Obradović V, Janković D, Pagnacco M, Tomić Lj, Vasiljević D. Influence of small arms ammunition on targets made of granular matter. *11th International Scientific Conference on Defensive Technologies – OTEH 2024*; 2024; Tara, Serbia, Military Technical Institute; 2024. p. 535–538. (M33).
- [5] Janković D, Tomić Lj, Jerković D, Simović Pavlović M, Vasiljević D. Experimental determination of the optical parameters in granular impact. In: *Proceedings of the 11th International Conference on Defensive Technologies – OTEH 2024*; Tara, Serbia, Military Technical Institute; 2024. (M34).
- [6] Jankovic D, Vasiljevic D, Majstorovic G, Tomić Lj, Kostić I, Perić S, Dikić G, Application of infrared thermography in monitoring of water cooling on materials of different thermal properties. *9th International Scientific Conference on Defensive Technologies – OTEH 2020*, 8. – 9. October 2020, Military Technical Institute Belgrade (M33).
- [7] Janković D, Ochsenhofe M, Simović Pavlović M, Nestorović K, Stojnović S, Jerković D, Vasiljević D. Impact analysis of high-speed projectiles on granular material. *Contemporary Materials*. Vol. XV, No. 2, 2024. pp. 158–163. (M33)
- [8] Janković D, Simović Pavlović M, Vasiljević D, Nikolić Z, Tomić Lj. Thermal and optical characterization of ballistic events in composite and granular targets. *Contemporary Materials*. Vol. XV, No. 2, 2024. pp. 164–170. (M33).
- [9] Simović Pavlović M, Maksimovic T, Maksimovic J, Radulovic A, Janković D, Pagnaco M. Defining phosphate tungsten bronze structure through the fractal dimension. *Contemporary Materials*. Book 69, Banja Luka 2025, pp. 185–189. (M33).

- [10] Janković D., Simović Pavlović M, Ochsenhofe M, Radisavljević I, Vasiljević D. Analysis projectile effects on different types of materials. Conference on Advances in Science and Technology – COAST 2024; 2024; Herceg Novi, Montenegro. (M33).
- [11] Simović Pavlović M. Radulovic A, Janković D., Vasiljević D. Image Analysis of butterfly Wing Surfaces for the Creation of New Biomimetic Materials. The First International Online Conference on Biomimetics – IOCB 2024; 2024; Serbia. (M33).
- [12] Janković D., Simović Pavlović M, Nikolić Z, Tomić Lj, Vasiljević D. Analysis of thermal characteristics of air rifle barrels after multiple firings. Conference on Advances in Science and Technology – COAST 2025; 2025; Herceg Novi, Montenegro. (M33).
- [13] Majstorović G, Tomić Lj, Janković D. Primena crvene termografije u praćenju rada benzinskog i dizel motora / Application of infrared thermography in monitoring the operation of petrol and diesel engines. Zbornik radova naučne konferencije vojnih nauka „VojNa 2023“; 2023. Serbia. pp. 275–276. (M33).

Објављени резултати представљају потврду достигнућа из докторске дисертације.

7. Подаци о извршеној провери на плагијаризам

Провера оригиналности рукописа докторске дисертације кандидата пп Дарка Јанковића извршена је применом софтверског алата за проверу оригиналности и о резултатима провере сачињен Технички извештај о провери на плагијаризам (акт Ректората УОБ број 18-300 од 02. 12. 2025. године). Извршена провера оригиналности није показала поклапања са било којим извором литературе (степен подударња 0%).

На основу Техничког извештаја, ментор је израдио Извештај о оцени оригиналности наведене докторске дисертације (акт ВА број 10-484 од 22. 12. 2025. године), чиме је оригиналност докторске дисертације је позитивно оцењена.

На основу Техничког извештаја о провери на плагијаризам и Извештаја ментора о оцени оригиналности потврђује се да је докторска дисертација кандидата пп Дарка Јанковића оригинална, да представља резултат самосталног научноистраживачког рада.

8. Закључак са детаљним образложењем научног доприноса докторске дисертације

Докторска дисертација кандидата потпуковника Дарка Јанковића, маг. инж. под насловом „Прилог развоју оптичких метода за одређивање параметара интеракције пројектила и препрека различитих карактеристика“, представља оригиналан истраживачки и експериментални рад, који даје допринос примене оптичких метода снимања дејства пројектила малих брзина испалених из ваздушног наоружања на грануларне материјале (песак). Истраживање је урађено са циљем примене методологије оцене дејства пројектила стрелачког наоружања на препреке које би у себи садржале одређену структуру грануларне материје у циљу боље заштите од кинетичких пројектила. Није показана примена представљене методе код ових врста пројектила. Анализа дејства снимана термовизијским камерама је дала одређена објашњења, без поређења са другим референтним и постојећим методама.

Допринос ове докторске дисертације огледа се у примени интегрисане оптичке методологије за експериментално одређивање параметара интеракције одређене групе пројектила и грануларних препрека, уз дефинисање нових дескриптивних параметара који омогућавају квантитативну анализу овог динамичког процеса.

Оригиналност приступа се огледа у увођењу три квантитативна појма описа интеракције тела и грануларне препреке: ерозије (поврат зрна у кратер), геометрије формираног кратера и дисперзије материјала (облак зрна), који су дефинисани на основу директне оптичке

опсервације и даље обрађени анализом слике. Описан је квантитативно феномен дистрибуције материјала, који се у постојећим истраживањима углавном разматрају квалитативно, али без описаног модела обраде слике.

Комбиновањем визуелних и термичких података остварен је делимичан ниво увида у динамику процеса интеракције, чиме је омогућено повезивање кинематичких и енергетских аспеката интеракције. Предложена методологија би требало да омогући експериментално одређивање релевантних параметара, као и успостављање основе за предикцију понашања грануларних материјала у зависности од њихових карактеристика.

Одређени резултати истраживања из ове докторске дисертације су јавно публиковани у научном часопису и у зборницима међународних научних скупова, што потврђује њихову научну релевантност. Део резултата истраживања о грануларним материјалима и интеракцији пројектила ваздушног наоружања са овим врстама препрека, представљен је кроз конференцијске радове на научним скуповима.

Делимично доказане хипотезе се односе на примену претпостављене методе за испитивање дејства кинетичких пројектила малих брзина (интервала до 200 m/s) и врло малих енергија (интервал око 15 J). Део хипотеза, који није доказан је примена методе за испитивање реалних модела пројектила брзина својствених војној примени (интервал од 500 до 1000 m/s). Основни циљ рада је био да се покаже примена поступака оптичких метода у циљу

Допринос дисертације је у примени оптичких метода снимања брзим и термовизијским камерама ради прикупљања резултата (слика) интеракције пројектила са препрекама, пре свега састављених од грануларних материјала. Наведено је да је анализа класификованих појава током интеракције пројектила малих брзина испалених из ваздушног наоружања урађена анализом слика, међутим у раду нема представљеног или описаног модела обраде, што умањује значај доприноса. Такође, недостају оригиналне квалитетне фотографије снимања, којим би било значајно увећан и оправдан квалитет истраживања. Представљени поступак није дао резултате код експерименталних истраживања са пројектилима стрељачког наоружања, за чију примену има оправдања користити балистичку заштиту.

Допринос дисертације је истраживање и делимична анализа дистрибуције температуре на циљу при експерименталном испитивању дејства пројектила стрељачког наоружања на препреке са различитим комбинацијама грануларних материјала и балистичке плоче. Ова анализа се заснива резултатима снимања са термовизијском камером, с тим да у раду нису приказане аутентичне фотографије ових испитивања. Тумачење резултата је дато изоловано од референтних резултата истраживања и без поређења са другим изворима или методама.

Приказано истраживање је анализом слика добијених брзим камерама (фотоапаратом) показало примену код дејства пројектила малих брзина на препреку са грануларним материјалом (песком) преко анализе слика и геометрије места удара, распршивања материјала са места удара, ерозије места удара, преко појмова дефинисаних и анализираних за случај грануларних препрека под дејством пројектила из ваздушног наоружања. Део истраживања, који се односи на откривање како структура препрека различитих материјала утиче на процесе промене енергије током судара пројектила велике брзине је анализиран на основу снимака термовизијских камера преко промене температуре. У овом делу рада није посебно приказан конкретан модел или идејно решење специфично конструисаних структура и материјала за препреке, а у функцији балистичке заштите. Дато је препорука за коришћење грануларних материјала у оквиру постојећих структура заштите на основу процене губитка енергије, добијених из промене температуре. Дат је и предлог за будућа истраживања, на основу постигнутих резултата, а у циљу развоја балистичке заштите и примене приказаних поступака са сложенијом и квалитетнијом опремом.

Утврђивање предности коришћења оптичких метода за анализу дејства пројектила на препреке различитих материјала или структура, као предмет истраживања ове дисертације

је описан кроз могућност примене снимања појава и процеса без утицаја на сам процес удара и без потребе за деструкцијом материјала. Компаративни приступ је коришћен за оцену међусобно реализованих експерименталних испитивања са различитим условима. У раду није наведена посебно компарација коришћених оптичких метода за одређивање параметара судара у односу на друге расположиве методе.

Било је планирано да се анализа врши на два нивоа. Први ниво је требало да буде конкретна примена оптичких метода код посмаграња експеримента, односно самог момента дејства пројектила на препреку. Физички процес интеракције је сниман оптичким системима са камерама (фотоапарат или видео запис) у различитим режимима брзине прикупљања података, као и термовизијском камером. Као резултат добијена је серија дигиталних фотографија одређене резолуције у временским интервалима. Други део представља анализа добијених фотографија ради добијања података помоћу постојећег софтверског пакета. У раду нисмо успели да нађемо математичку интерпретацију наведеног модела, прилог или у наведеним изворима литературе. Ово је опис из идејног пројекта докторске дисертације, који није приказан у материјалу дисертације.

Идеја поступка није описана у раду и оно што недостаје је објашњење модела обраде резултата снимања. За сваки временски тренутак у низу слика постоји јасна расподела гранулата у простору (у равни фотографије или снимка) пре тренутка продора пројектила, током продора, као и после продора пројектила у процесу релаксације узорка гранулата у посуди. Наведени софтверски пакет анализира у првој итерацији број и расподелу зрана гранулата у видном пољу (односно на дигиталној фотографији). У свакој слици (енг. frame) у низу пре продора пројектила постоји истоветна расподела зрна гранулата са веома малом флукуацијом. У тренутку удара пројектила и продора кроз грануларни материјал долази до значајних промена у просторној расподели зрна гранулата, при чему се могу анализирати процеси релаксације грануларног узорка у експерименту. Ово се односи на евиденцију динамике разлетања узорка, просторне расподеле зрана гранулата, односно промене у морфологији површине грануларног материјала у времену (мерење промене површине и дубине продора пројектила). Овај део није конкретно приказан у раду сем једне фотографије на слици 4.3.

За развој софтверског пакета је наведено да је коришћен је програмски језик C++ уз коришћење OpenCV развојне библиотеке. Наводи се да у оквиру развијеног софтверског пакета постоји могућност анализе сваког појединачног зрна гранулата за који се одређује положај у простору. Иницијални резултати до сада развијеног софтверског пакета не омогућавају одређивање реалних просторних координата у дужинским мерама већ само своде на ниво пројекција. Прве анализе урађених мерења указују да постојећи софтверски пакет процесуира серију фотографија или видео запис настао камером практично у реалном времену. У овој фази развоја софтверског пакета постоји идентификација појединачних зрна гранулата, па је тиме и омогућена анализа динамике кретања појединачних зрна у простору и времену (могуће је утврдити одакле је кренуло зрно са површине и на ком је месту завршило након релаксације). Усложњавање мерења у виду анализе дистрибуције реалних просторних X-Y-Z координата група зрна гранулата у времену или временски зависна модификација површине узорка грануларног материјала у посуди подразумева да се просторне координате мере у дужинским јединицама и тиме би се дефинитивно изашло из домена пројекција и самим тим би се повећао утрошак времена за анализу резултата.

Основни циљ истраживања је да се применом претходно описаним поступком анализирају резултати дејства пројектила на препреке различитих врста материјала. Овако добијени резултати је требало упоредити са резултатима добијеним другим методама у функцији оцене и предности примењених метода за одређивање параметара дејства током динамичких процеса интеракције тела пројектила са различитим препрекама, али је изостало да се прикаже у раду. Приказане су међусобно обрађени резултати са две врсте

пројектила испаљених из ваздушног наоружања, на три различите гранулације песка са два различита угла у односу на нормалу на површину коју је заузимао грануларни материјал, као и са два различита ваздушна оружја (различитих почетних и одређених прорачуном ударних брзина на препреци).

Две фазе експерименталних испитивања су извршене са различитим врстама пројектила испаљених из ваздушног наоружања (две врсте пројектила – дијабола, различитих брзина око 160 и 240 m/s) и стрељачког наоружања (два различита калибра 5.56 mm и 7.62 mm, брзина око 900 и 750 m/s). За анализу дејства на препреке од грануларног материјала (различите гранулације) са пројектиlima малих брзина из ваздушног наоружања је урађена анализа слика добијених снимањем брзом камером и израчуната расподела енергије. Анализу дејства на препреке у виду балистичке плоче од Кевлара, као и на препреке од два типа грануларног материјала (различите гранулације и везива) са пројектиlima великих брзина из стрељачког наоружања није урађена анализа фотографија описаним поступком, због одређених ограничења. Извршена је анализа и процена губитака енергије у наведеним материјалима према сликама добијеним снимањем термалном камером. Нису представљене фотографије снимане термалном камером, али је анализа поткрепљена дијаграмима промене температуре на препреци током испитивања у релативно дужим временским интервалима.

Према пријави рада било је очекивано да се одређени пример интеракције пројектила, посебно великих брзина, својственим стрељачком наоружању, а посебно у функцији дејства на опрему за балистичку заштиту прикаже у раду. Претпостављамо да је с обзиром на немогућност регистровања довољно квалитетних снимака (фотографија) у односу на брзину кретања пројектила испаљених из стрељачког наоружања (око 750 до 900 m/s) током ове фазе експеримента, изостао део анализе појава током интеракције, као и део потребног поређења овог поступка са резултатима добијеним најчешће коришћењем софтвера за нумеричку анализу брзих процеса (описаним у дисертацији).

Приказано истраживање резултата добијених из експерименталних испитивања дејства пројектила из ваздушног наоружања на грануларне материјале, са слика обрађених са постојећим софтверским пакетима, уз прорачун дисипације енергије представља интегрално посматрано релативно унапређен, применљив и објективно заснован поступак. Његова примена у великој мери зависи од нивоа квалитета опреме за регистровање слика, услова реализације и организације експеримента. Изостанак резултата испитивања са пројектиlima са стрељачким наоружањем, на одређени начин не даје потврду могућности примене претходно описаног поступка. Компарација са резултатима нумеричких метода је требало да да потврду поузданости методе снимања у односу на примењена снимања термовизијском камером и оценом промене температуре.


Основни научни циљ према пријави теме је био да се дефинише поуздана и стандардна методологија за проучавање феномена брзих процеса интеракције пројектила са препрекама различитих структура и материјала, применом оптичких метода. У раду је приказана могућност примене и објективно заснована оцена дејства пројектила на циљ са грануларним материјалима, а делимично и са материјалом балистичке заштите. Представљена је полазна методологија испитивања са ограничењима у погледу брзине пројектила, услед коришћене опреме са вредностима карактеристика мањих од потребних за реализацију експеримента. Може се сматрати да је поступак описан код дејства пројектила испаљених из ваздушног оружја на препреке са грануларним материјалима поуздана основа за даље истраживање, међутим не може да представља стандардну методологију. Било је потребно да се у оквиру експерименталних испитивања дејства пројектила из стрељачког наоружања на различите препреке, дају основне смернице и објашњења реализације експеримента, али у односу на стандардне методе испитивања.

Резултати добијени у дисертацији показују предности коришћења оптичких метода у одређивању параметара интеракције одређених врста пројектила и препрека од грануларних материјала, без конкретног поређења са другим резултатима. Компаративна анализа се за описану врсту пројектила и препрека у раду односи само на различите гранулације материјала (песка), нивоа брзина од око 160 до 240 m/s и угла дејства на површину грануларног материјала.

Имајући увиду да се чланови комисије одређени одлуком ННВ ВА бр. 07/55 нису усагласили око оцене докторске дисертације, овај извештај достављају доле потписани чланови комисије.

Комисија закључује да је докторска дисертација није урађена у потпуности у складу са одобреном пријавом теме докторске дисертације (Одлука Сената Универзитета одбране, број 7/136, акт Универзитета одбране у Београду, број 27-211 од 28.06.2023. године), да представља непотпуно истраживачко дело, да има термилошких и методолошких пропуста у писаном материјалу, да недостаје неколико кључних закључака дефинисаних предлогом и да се нису стекли услови за њену јавну одбрану. Сходно томе, потписани чланови комисије предлажу Већу за техничко – технолошке и природно – математичке науке Војне академије Универзитета одбране у Београду да докторску дисертацију под насловом „Прилог развоју оптичких метода за одређивање параметара интеракције пројектила и препрека различитих карактеристика” кандидата потпуковника Дарка Јанковића, врати кандидату на дораду.

У Београду, 21.04.2026. године.


РЕПУБЛИКА СРБИЈА
МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
ВОЈНА АКАДЕМИЈА

КОМИСИЈА:

пк ванр. проф. др Дамир Јерковић, дипл. инж. – председник

пк ванр. проф. др Небојша Христов, дипл. инж. – члан

Бр. 164-7 2026
22 APR 2026
БЕОГРАД 20. год.

Достављено:

- Већу за ТТ и ПМН Војне академије,
- Комисији (е/р),
- Наставно-научном већу Војне академије (е/р, н/з),
- Департману за ТТ и ПМН Војне академије (е/р, н/з),
- Катедри ВМИ (е/р),
- а/а.