

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФАКУЛТЕТА ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА  
УНИВЕРЗИТЕТА У КРАГУЈЕВЦУВЕЋУ ЗА ТЕХНИЧКО-ТЕХНОЛОШКЕ НАУКЕ  
УНИВЕРЗИТЕТА У КРАГУЈЕВЦУ

На седници Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу одржаној 18.05.2023. год. (број одлуке: 01-1/1466-6) и на седници Већа за техничко-технолошке науке одржаној 21.06.2023. год. (број одлуке: IV-04-432/16) одређени смо за чланове Комисије за подношење извештаја за оцену научне заснованости теме и испуњености услова кандидата за израду докторске дисертације под називом:

**ДОПРИНОС ПРОУЧАВАЊУ ТЕРМИЧКОГ И МЕХАНИЧКОГ НАПРЕЗАЊА  
ЗИДОВА ЦЕВИ АРТИЉЕРИЈСКОГ ОРУЂА ДИНАМИЧКИМ ДЕЛОВАЊЕМ  
ПОГОНСКИХ БАРУТНИХ ГАСОВА У ТОКУ ПРОЦЕСА ОПАЉЕЊА**

у научној области Машинско инжењерство, ужа научна област Примењена механика кандидаткиње **Александре Живковић**, мастер инжењера индустријског инжењерства. На основу података којима располажемо достављамо следећи

**ИЗВЕШТАЈ****1. Научни приступ проблему предложеног нацрта докторске дисертације и процена научног доприноса крајњег исхода рада**

У предложеном нацрту докторске дисертације кандидаткиња је образложила предмет истраживања наводећи актуелности и значај предложене теме у области термичког и механичког напрезања зидова цеви артиљеријског оруђа у динамичким условима процеса опаљења.

Предмет ове дисертације јесте примена неинвазивних и бесконтактних метода детекције и регистравања термичких и механичких напрезања зидова цеви артиљеријског оруђа услед дејства погонских гасова у процесу опаљења.

У проучавању преноса топлоте на цев артиљеријског оруђа, бесконтактна метода мерења температуре термалном камером је показала велики потенцијал у односу на друге методе. Ова метода омогућава неинвазивно мерење топлотног преноса између барутних гасова и цеви, без контакта са флуидом, умањујући ризик од утицаја на конвекцију. У последње време, у конструкцијама артиљеријског оруђа, методе за бесконтактно мерење преноса топлоте на цеви су постале све значајније. Ова техника се примењује ради детекције температуре на површини цеви, која се може јавити услед дуготрајног гађања.

Циљ ове дисертације јесте методологија бесконтактног мерења температуре цеви артиљеријских оруђа, која су у саставу Војске Србије. Промена температуре је основна карактеристика у раду термомеханичких уређаја, укључујући и системе наоружања. Међутим, непосредно мерење температуре је практично немогуће и обавља се на основу промене особина посредног термоактивног елемента. За мерење температуре спољних зидова цеви оружја, постоје различите методе које узимају у обзир време трајања процеса опаљења и пренос топлоте барутних гасова на зидове цеви. Примена термовизијских



уређаја је бесконтактна метода и омогућава мерења без наведених ограничења, те ће из тог разлога у овој дисертацији бити примењен термовизијски метод.

Кандидаткиња је предложила програм истраживања у наведеној области, који је у складу са савременим научним методама истраживања. Имајући у виду приказ проблема истраживања, полазне хипотезе и предложене научне методе истраживања, приказани нацрт докторске дисертације садржи све елементе који су потребни да би се у изради докторске дисертације дао научни допринос проучавању термичког и механичког напрезања зидова цеви артиљеријског оруђа.

### **Веа са досадашњим истраживањима**

Увидом у објављене радове у научним часописима, досадашњи научно-истраживачки рад, као и досадашње радно искуство у Министарству одбране на пословима истраживача развоја и конструкције наоружања, може се закључити да се кандидаткиња Александра Живковић бавила проучавањем термичких и механичких напрезања цеви оруђа и оружја у динамичким условима процеса опаљења, што представља добру основу за реализацију ове докторске дисертације.

Рад у оквиру ове дисертације омогућава кандидаткињи да оствари континуитет у свом истраживачком раду, што поред стручног усавршавања кандидаткиње има за циљ и могућност примене нових решења у инжењерској пракси. Планиране активности кандидаткиње представљају наставак истраживања у областима у којима је радила до сад, област системи наоружања. Према листи наведених радова, као и радова других аутора, ослањаће се на публиковане радове следећих аутора:

(Çiğdem Susantez, et al. 2022.<sup>1</sup>) представља истраживање где је детаљно анализиран коефицијент конвекције преноса топлоте унутар глатке цеви топа калибра 120 mm. Поред наведеног развијен је и напредни нумерички модел који је коришћен за прецизан прорачун топлотног понашања цеви топа у различитим условима рада.

(Ercan Değirmenci, et al. 2012.<sup>2</sup>) представља студију спроведену за прорачун термо-механичког утицаја барутних гасова унутар цеви снајперске пушке 7,62 mm. Овим истраживањем је потврђено да коефицијенти преноса топлоте добијени методом коначних елемената, представљају добру процену коефицијента преноса топлоте, који се формирају у реалним условима процеса опаљења.

(K. A. Suyadnya, et al. 2019.<sup>3</sup>) проучавају нумеричком методом прелазни пренос топлоте у цеви артиљеријског система у току процеса опаљења. Овим истраживањем је утврђено да нумеричка анализа преноса топлоте, применом методе коначних елемената, има малу грешку у поређењу са експериментално добијеним резултатима преноса топлоте.

---

<sup>1</sup> C.Susantez and A.B.Caldeira, „Heat Transfer Modelling and Simulation of a 120 mm Smoothbore Gun Barrel During Interior Ballistics“, Defence Science Journal, vol. 72, no. 1, January 2022, pp. 30-39.

<sup>2</sup> E.Deirmenci and M.Hüsnü Dirikolu, “A Thermochemical Approach for the Determination of Convection Heat Transfer Coefficients in a Gun Barrel”, Applied Thermal Engineering, vol. 37, May 2012, pp. 275-279.

<sup>3</sup> K. A. Suyadnya, D. Tarwidi, E. B. Setiawan, and R. F. Umbara, “Numerical Modeling of Heat Transfer in Gun Barrel with Experimental Validation”, International Journal of Engineering & Technology, vol. 8, no. 1, pp. 62–66, 2019.



(*W.B.Abaci et al. 2022.*<sup>4</sup>) представљају истраживање утицаја различитих параметара мешавине гасова добијених сагоревањем барута, који омогућавају одређивање коефицијента топлотне конвекције између гасова и површине цеви оружја. Провођење топлоте у цеви сведено је на два односиметрична проблема. Решен је нумерички коришћењем једнодимензионалних и дводимензионалних једначина топлотне проводљивости. Циљ овог истраживања је валидација резултата добијених нумеричком методом и резултата мерених термалном камером.

(*Y.Yang et al. 2020.*<sup>5</sup>) проучавају напонску реакцију анизотропне цеви топа на коју делују термомеханичка оптерећења, тачније утицај контакта између пројектила и цеви у динамичким условима процеса опаљења. У овом истраживању су креирана два модела коначних елемената. Први модел представља интеракцију пројектила и цеви, односно прорачун напона урезивања водећег прстена, док други модел представља термичко напрезање цеви. Резултати истраживања указују да цев топа има мали животни век, због лоших механичких својстава материјала цеви топа.

(*W.H.Giedt 2012.*<sup>6</sup>) представља истраживање засновано на проблематику мерења брзо променљиве температуре и преноса топлоте између гасова и зидова цеви. Температуре су мерене веома близу металне површине цеви, помоћу посебног типа термоелемента. Изведене су једначине у којима се резултујућа мерења термопарова користе за израчунавање преноса топлоте кроз површину. Метода је илустрована применом на цев топа калибра 40 mm. Експериментално добијене температурне криве су упоређене са теоријским резултатима.

Истраживање у оквиру теме докторске дисертације ослањаће се на истраживања представљена у следећој полазној литератури:

- [1] A.Mishra, A.Hameed and B.Lawton, „A Novel Scheme for Computing Gun Barrel Temperature History and Its Experimental Validation“, *Journal of Pressure Vessel Technology*, vol. 132, December 2010, Issue 6, doi: 10.1115/1.4001740.
- [2] A.Şentürk, H.Işyk, and C.Evci, “Thermo-Mechanically Coupled Thermal and Stress Analysis of Interior Ballistics Problem,” *International Journal of Thermal Science*, vol. 104, pp. 39–53, 2016, doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2015.12.019.
- [3] A.A.Putti, M.R.Chopade and P.E.Chaudhari, „A Review on Gun Barrel Erosion“, *International Journal of Current Engineering and Technology*, Special Issue-4, March 2016, pp. 231-235, doi: 10.14741/Ijccet/22774106/spl.4.2016.48.
- [4] B.Wu, G.Chen and W.Xia, „Heat Transfer in a 155 mm Compound Gun Barrel with Full Length Integral Midwall Cooling Channels“, *Applied Thermal Engineering*, vol. 28, June 2008, pp. 881-888, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2007.07.010.

---

<sup>4</sup> W.B.Abaci, N.Hristov, N.Z.Ahmed, D.Jerkovic, and M.Drakulic, “Determination of the Gun Barrel Walls Temperature Distribution and Its Experimental Validation During Multiple-Shots Firing Process”, *International Journal of Thermal Sciences*, vol. 179, no. September 2022, pp.107667.

<sup>5</sup> Y.Yang, X. Zhang, C. Xu, and L. Fan, “Dynamic Stress Analysis of Anisotropic Gun Barrel under Coupled Thermo-Mechanical Loads via Finite Element Method,” *Latin American Journal of Solids and Structures*, vol. 17, no. 1, pp. 1–20, 2020.

<sup>6</sup> W.H.Giedt, „The Determination of Transient Temperatures and Heat Transfer at a Gas-Metal Interface Applied to a 40-mm Gun Barrel“, *Journal of Jet Propulsion*, vol. 25, no. 4, pp. 158-162.

- [5] B.Lawton „The Influence of Additives on the Temperature, Heat Transfer, Wear, Fatigue Life, and Self Ignition Characteristics of a 155 mm Gun“, *Journal of Pressure Vessel Technology*, vol. 125, Issue 3, August 2003, pp. 315-320, doi: 10.1115/1.1593069.
- [6] B.Lawton, “Thermo-Chemical Erosion in Gun Barrels”, *Wear*, vol. 251, Issues 1-12, pp. 827–838, 2001, doi: 10.1016/s0043-1648(01)00738-4.
- [7] D.Jevtić, D.Micković i S.Jaramaz, „Modeling of Gas Parameters in the Cylinder of the Automatic Gun During Firing“, *Thermal Science*, vol. 24, no. 6B, pp. 4135-4145, 2020, doi: 10.2298/TSCI200118152J.
- [8] K.Kalev, „One Approach For Studying the Cannon Barrel Wall Heat Transfer“, Available:[https://www.researchgate.net/publication/305636467\\_ONE\\_APPROACH\\_FOR\\_STUDYING\\_THE\\_CANNON\\_BARREL\\_WALL\\_HEAT\\_TRANSFER](https://www.researchgate.net/publication/305636467_ONE_APPROACH_FOR_STUDYING_THE_CANNON_BARREL_WALL_HEAT_TRANSFER), May 2016.
- [9] N.Rezgui, D.Micaković, S.Živković and I.Ivanović, “Experimental and Numerical Analysis of Thermo-Chemical Erosion in Gun Steel,” *Thermal Science*, vol. 23, no. 2, pp. 599–612, 2019, doi: 10.2298/TSCI180608194R.
- [10] S.Shelton, A.Bergles and P.Sasha, „Study of Heat Transfer and Erosion in Gun Barrels“, Georgia inst of tech atlanta school of mechanical engineering, 1972.
- [11] S.Sopok, C.Rickard, and S.Dunn, “Thermal-Chemical-Mechanical Gun Bore Erosion of an Advanced Artillery System Part One: Theories and Mechanisms,” *Wear*, vol. 258, Issues 1-4., pp. 659–670, 2005, doi: 10.1016/j.wear.2004.09.031.
- [12] T.C.Chen, C.C.Liu, H.Y.Jang, and P.C.Tuan, “Inverse Estimation of Heat Flux and Temperature in Multi-Layer Gun Barrel”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 50, no. 11–12, pp. 2060–2068, 2007, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2006.11.022.
- [13] X.Li, Y.Wang, Y.Zang, B. Guan, and Q. Qin, “Analysis of Interior Ballistic Performance Degradation of a Worn Gun Barrel Based on Finite Element Method”, *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1314, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1314/1/012090.
- [14] Y.Ching Yang, H.Long Lee, J.Chang Hsu and S.Shu Chu, „Thermal Stresses in Multilayer Gun Barrel with Interlayer Thermal Contact Resistance“, *Journal of Thermal Stresses*, vol. 31, Issue 7, 2008, doi: 10.1080/01495730801981582.



## **2. Образложење предмета, метода и циља који уверљиво упућују да је предложена тема од значаја за развој науке**

### **Предмет, циљеви и хипотезе ове дисертације обухватају следеће**

Предмет ове дисертације јесте примена неинвазивних и бесконтактних метода детекције и регистравања термичких и механичких напрезања зидова цеви артиљеријског оруђа услед дејства погонских гасова у процесу опаљења.

Циљ предложене дисертације да се применом аналитичких и нумеричких метода унутрашње балистике дефинишу основни параметри унутрашње балистике: притисак барутних гасова, температура барутних гасова, положај пројектила у цеви и брзина пројектила у функцији од времена процеса опаљења. Експериментална испитивања предвиђена дисертацијом подразумеваће мерење више термодинамичких параметара током опаљења артиљеријског оруђа са одговарајућим бројем понављања. Приликом сваког процеса опаљења биће извршена мерења балистичких параметара, а посебно температуре барутних гасова применом термовизијског уређаја. Резултати математичког модела утицаја топлоте барутних гасова на цев биће упоређени са експериментално добијеним резултатима, односно са резултатима балистичких испитивања.

Анализом добијених резултата показаће се утицај основних параметара унутрашње балистике на термална и механичка оптерећења цеви оруђа или оружја. Добијени резултати истраживања могу се користити у процесу пројектовања нових цеви оруђа или оружја, или у процесу модификације постојећих

Приликом израде ове докторске дисертације полази се од основних хипотеза које су резултат анализе постојеће литературе, као и досадашњих теоријско-практичних истраживања аутора. Основне претпоставке од којих се полази:

- Развојем математичког модела, који се заснива на термодинамичким и математичким основама, могуће је описати и прорачунати механичко, термичко и хемијско напрезање цеви оруђа или оружја, у циљу валидације добијених резултата са експериментално добијеним резултатима;
- На основу добијених резултата могуће је дефинисати поуздан прорачун напонско-деформационог стања цеви са дефинисаним режимом процеса опаљења и дати предикцију о животном веку цеви оруђа или оружја;
- Применом математичких и аналитичких метода могуће је решити диференцијалну једначину термалне проводљивости.

### **Методе истраживања**

Методе које ће се користити приликом истраживања у оквиру ове докторске дисертације су:

- Експерименталне и
- Нумеричке методе.

Експерименталне методе подразумеваће одређивање утицаја превођења топлоте са погонских барутних гасова на зид цеви, односно мерење загрејаности цеви артиљеријског система у процесу опаљења, бесконтактном и неинвазивном методом. Експерименти полигонским гађањем артиљеријског оруђа ће бити понављани више пута,

у циљу добијања поузданих и тачних резултата. Испитивање и одређивање топлотног напрезања зидова цеви има велики значај у наменској, односно војној индустрији, јер утиче на животни век оруђа. Добијени експериментални подаци биће коришћени за упоредну анализу резултата добијених методом коначних елемената. Из наведеног се види потреба за детаљним и научно утемељеним истраживањима, која би укључивала експериментално испитивање механичких својстава цеви оружја, као и развој сложених нумеричких модела за механичко и термално напрезање, са применом методе коначних елемената.

У модерној инжењерској пракси, нумеричка симулација је постала неизоставан алат за анализу понашања модела у различитим условима. Тестирање прототипова или пројектовање нових система, што је свакодневна пракса у војној индустрији, све више уступа место нумеричким симулацијама применом методе коначних елемената, јер пружа брз и економичан начин за процену предложених концепата. Метода коначних елемената се примењује за проблеме са комплексном геометријом, комплексним оптерећењима и комплексним понашањем материјала, где се решења не могу одредити аналитичким приступом. Ова метода омогућава анализу сложених случајева оптерећења, пружајући прецизније и поузданије резултате. Уз то, нумеричка симулација омогућава идентификацију и решавање проблема у раној фази развоја производа, чиме се смањују трошкови и време потребно за развој. Стога, примена ове методе у инжењерској пракси постаје све заступљенија и као таква неопходна је за успешно развијање нових производа.

### **Оквирни садржај докторске дисертације**

План израде дисертације је креиран на основу досадашњих искустава, теоријских и практичних, као и анализе постојеће научне и стручне литературе.

1. Увод
2. Одређивање параметара унутрашње балистике
3. Термичко напрезање цеви артиљеријског система
4. Нумеричка анализа механичког оптерећења
5. Експериментално испитивање термичког и механичког напрезања цеви
6. Упоредна анализа резултата
7. Закључна разматрања
8. Литература

### **Кратки опис поглавља**

- **Увод** – У овом поглављу биће анализирани теоријски и литературни подаци који се односе на моделе мерења основних балистичких параметара артиљеријских система, са акцентом на проблем мерења загревања дебелозидних цеви оруђа, услед дејства врелих барутних гасова, који су настали као продукт процеса опаљења.



- **Одређивање параметра унутрашње балистике** – Поглавље представља приказ прорачуна балистичких параметра артиљеријског оруђа. Прорачун унутрашње балистике биће урађен аналитичким и нумеричким моделима: методом Дроздов и методом Двофазног струјања. У овом поглављу биће дефинисани односи између притиска барутних гасова, температуре барутних гасова, положаја и брзине пројектила. Полазне вредности у овом прорачуну биће карактеристике цеви оруђа, пројектила и барутног пуњења.
- **Термичко напрезање цеви артиљеријског система** – У овом поглављу биће представљено како флуиди настали сагоревањем барутног пуњења, преносе топлоту на дебелозидни цилиндар од челика. Биће приказано како барутни гасови преносе топлоту на зидове цеви артиљеријског система. У овом поглављу поставиће се аналитички модел за прорачун превођења топлоте флуида на челик. За потребе овог прорачуна неопходно је дефинисати коефицијент топлотне конвекције. У циљу дефинисања процеса ширења топлоте флуида на зидове цеви, неопходно је креирати једнодимензиони и дводимензиони модел.
- **Нумеричка анализа механичког оптерећења** – Ово поглавље представља нумеричку анализу механичког оптерећења цеви артиљеријског оруђа методом коначних елемената. Поглавље ће садржати дефинисање материјалног модела, примену адекватног софтвера за прорачун напонског стања на основу дефинисане функције оптерећења дејства притиска барутних гасова у току процеса опаљења. За потребе анализе неопходно је дефинисати почетне и граничне услове у циљу добијања адекватног модела за нумеричку анализу.
- **Експериментално мерење термичког и механичког напрезања цеви** – У овом поглављу биће описана метода бесконтактног и неинвазивног мерења температуре спољњих зидова цеви артиљеријског система помоћу термалне камере. Основна циљна активност експеримента је провера валидности једнодимензионалног и дводимензионалног математичког модела за прорачун дистрибуције топлоте са флуида у зидове цеви. Као почетни параметри за прорачун топлотних параметара прихваћене су идентичне вредности гасодинамичких услова за оба модела. Циљ експеримента је да се мери температурни профил спољашњих зидова током процеса испаливања више пројектила, и да се добије градијент температуре након сваког опаљења. Поред регистровања температуре током експерименталних истраживања ће се регистровати и друге физичке величине за детекцију механичких напрезања цеви.
- **Упоредна анализа резултата** – Ово поглавље ће представљати презентовање и упоредну анализу бројних експерименталних резултата и резултата добијених нумеричким прорачунима. Циљ је да се добијени резултати упореде и да се извуку закључци о томе да ли материјални модели коришћени за нумеричке прорачуне имају потврду у реалним условима и колико су прецизни.
- **Закључана разматрања** – Ово поглавље ће садржати најважније закључке након изведених испитивања, прорачуна и анализа, који ће представљати научни допринос докторске дисертације.

- **Литература** – У оквиру овог поглавља биће наведени сви литературни извори који су коришћени приликом израде и писања докторске дисертације.

### **3. Образложење теме за израду докторске дисертације које омогућава закључак да је у питању оригинална идеја или оригиналан начин анализирања проблема**

На основу пријаве теме докторске дисертације и представљеног концепта, Комисија закључује да постоји потреба за детаљном анализом фактора који утичу на термичко и механичко напрезање зидова цеви артиљерисјког оруђа, што ће омогућити ефикасно и поуздано мерење утицајних параметара на наведени проблем, које ће допринети даљем развоју конструкције система артиљеријског наоружања.

Докторска дисертација је усмерена на елементе у реалној примени, при чему ће примена нумеричких и експерименталних метода значајно утицати на смањење трошкова и времена при пројектовању наоружања, анализи и мерењу утицајних фактора у току процеса опаљења.

Комисија закључује да је предложена тема докторске дисертације, са образложеним предметом и циљевима рада, научним доприносима и очекиваним резултатима, насталим детаљном анализом доступних научних радова у научном и стручном смислу, оригинална идеја.



#### **4. Усклађеност дефиниције предмета истраживања, основних појмова, предложене хипотезе, извора података, метода анализе са критеријумима науке уз поштовање научних принципа у изради коначне верзије докторске дисертације**

Кандидаткиња Александра Живковић ће у својој дисертацији обухватити све елементе савременог научно-истраживачког рада, поштујући основне критеријуме науке, научних циљева и метода анализе, имплементацијом постојећих и развијањем оригиналних идеја научног истраживања.

У достављеној пријави теме, кандидаткиња се служила одговарајућом терминологијом из области која је предмет рада. Дефиниција предмета истраживања је усклађена са основним појмовима, предложеним хипотезама и методама истраживања. Кандидаткиња је показала способност да планира и реализује експерименте уз коришћење савремене мерне опреме, као и за селекцију и анализу литературних извора.

Циљеви истраживања су проистекли из запажене потребе за одређивањем фактора који утичу на животни век цеви артиљеријског оруђа, са циљем квалитетније оптимизације постојеће и пројектовања нове конструкције наоружања.

Кандидаткиња ће детаљно проверавати полазне хипотезе, теоријски – анализом обимне литературе и извора и поређењем добијених резултата са експериментално добијеним вредностима.

## 5. Преглед научно-истраживачког рада кандидаткиње

### Кратка биографија кандидаткиње

Живковић Александра је рођена 04.08.1995. године у Пећи. Основну школу "21. Октобар" завршила је 2010. године у Крагујевцу са просечном оценом 5.00, као носилац дипломе „Вук Караџић“. Средње образовање је завршила 2014. године у Економској школи Крагујевац, смер: банкарски службеник-оглед, такође са просечном оценом 5.00 и као носилац дипломе „Вук Караџић“.

Основне академске студије на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу уписала је 2014. године, а завршила 2018. године са просечном оценом 9,05, смер: Војноиндустријско инжењерство, модул: Наоружање. Дипломски рад на основним студијама је одбранила са највишом оценом 10, на тему „Претпројекат универзалног пуњача оквира“, под менторством пуковника проф. др Александра Карија.

Након завршених основних академских студија 2018. године на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, уписала је мастер академске студије, смер: Војноиндустријско инжењерство. Мастер академске студије је завршила 2019. године са просечном оценом 9,86. Мастер рад на тему „Креирање аутоматизованог система за одређивање прецизности и тачности погодака стрелачког наоружања“ под менторством пуковника проф. др Небојше Христова је одбранила са највишом оценом 10. На мастер студијама је проглашена најбољим студентом генерације.

Докторске академске студије на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу је уписала 2019. године смер: Машинско инжењерство, област: Примењена механика. Испите предвиђене планом и програмом студија полаже са просечном оценом: 9.17.

Упоредо са докторским студијама 2021. године започиње радни однос у својству војног службеника у Војнотехничком институту – Сектор за класично наоружање и возила, на место истраживача у Одељењу за оруђа Одсека за ватрену подршку. Исте године је изабрана и ангажована у наставном процесу на Војној академији у својству асистента на Катедри Војномашинског инжењерства, за ужу научну област Системи наоружања. Као асистент ангажована је на организацији и реализацији аудиторних вежби на предметима основних академских студија смера Војноиндустријског инжењерства: Унутрашња балистика, Борбена употреба наоружања, и на предметима мастер академских студија смера Војноиндустријског инжењерства: Унутрашње-балистичко пројектовање и Интеграција наоружања на мобилне платформе.

Досадашњи научно-истраживачки рад и интересовања су усмерена на област Примењене механике. У свом раду примењује инжењерске програме као што су: CATIA, Autodesk Inventor, FEMAP, LS Dyna (основно знање) и Office 365.

Говори енглески језик.



## Научно-истраживачки рад

Као аутор или коаутор кандидаткиња је објавила 4 рада у научно–стручним часописима, као и на међународним и домаћим научно–стручним скуповима.

- **Списак објављених радова**

### **M23 (Рад у међународном часопису)**

1. Miljojković Jasmina, Kočović Vladimir, Luković Milentije, **Živković Aleksandra** and Katica Šimunović, „Development of a Modular Didactic Laboratory Set for the Experimental Study of Friction“, Tehnički Vjesnik-Technical Gazette, vol. 29, no. 1, pp. 269-277, ISSN 1330-3651, doi: <https://doi.org/10.17559/TV-20210925171045>, 2022.

### **M34 (Саопштење са међународног скупа штампано у изводу)**

1. **Živković Aleksandra**, Hristov Nebojša, Jerković Damir, Bogdanović Bogdan and Milutinović Jovana, „Automatic Measurement of Precision and Accuracy From the Hit Pattern of Small Arms Using Electronic Target System“, 9th International Scientific Conference “Research and Development of Mechanical Elements and Systems” IRMES, Kragujevac, Republic of Serbia, 2019, 5th – 7th September, pp. 68-69, ISBN 978-86-6335-061-8, doi: [10.1088/1757-899X/659/1/012015](https://doi.org/10.1088/1757-899X/659/1/012015).
2. Milutinović Jovana, Hristov Nebojša, Jerković Damir, Marković Svetlana and **Živković Aleksandra** „The Application of the Ballistic Pendulum for the Bullets Velocity Measurements“, 9th International Scientific Conference “Research and Development of Mechanical Elements and Systems” IRMES, Kragujevac, Republic of Serbia, 2019, 5th – 7th September, pp. 44-45, ISBN 978-86-6335-061-8, doi: [10.1088/1757-899x/659/1/012016](https://doi.org/10.1088/1757-899x/659/1/012016).

### **M51 (Рад у врхунском часопису националног значаја)**

1. Pešić Miloš, **Živković Aleksandra**, Aničić Aleksa, Blagojević Lazar, Bonchev Petko and Pantović Predrag, „Numerical Analysis of a Frontal Impact of a 12.7 mm Projectile on an Armor Plate“, Vojnotehnički glasnik, vol. 70, Issue 4, pp. 897-923, ISSN 0042-8469, doi: <https://doi.org/10.5937/vojtehg70-38412>, 2022.

**6. Предлог за ментора са његовим референцама којима се доказује испуњеност услова за менторство**

Комисија предлаже да ментор ове докторске дисертације буде **др Слободан Савић**, редовни професор, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу.

Др Слободан Савић, редовни професор је као аутор или коаутор објавио више од 100 научно-истраживачких радова у међународним и домаћим научним часописима, као и зборницима међународних и домаћих научних скупова, од којих је 21 научни рад у часописима са СЦИ листе.

Референце којима се доказује испуњеност услова за менторство:

- [1] Boukera Abaci Walid, Hristov Nebojša, Ziane Ahmed Nabil, Jerković Damir, **Savić Slobodan**, „Analysis of Thermal and Gas-Dynamic Characteristics of Different Types of Propellant in Small Weapons“, Thermal Science, vol. 25, no. 6A, pp. 4295-4306, ISSN 0354-9836, doi: <https://doi.org/10.2298/TSCI200814138B>, 2021. (M23)
- [2] Hristov Nebojša, Kari Aleksandar, Jerković Damir and **Savić Slobodan**, „Application of a CFD Model in Determination of the Muzzle Blast Overpressure in Small Arms and its Validation by Measurement“, Tehnički Vjesnik-Technical Gazette, vol. 25, no. 5, pp. 1399-1407, ISSN 1330-3651, doi: <https://doi.org/10.17559/TV-20180321135212>, 2018. (M23)
- [3] **Savić Slobodan**, Obrović Branko and Hristov Nebojša, „Analysis of the Axisymmetrical Ionized Gas Boundary Layer Adjacent to Porous Contour of the Body of Revolution“, Thermal Science, vol. 20, no. 2, pp. 529-540, ISSN 0354-9836, doi: <https://doi.org/10.2298/TSCI150422143S>, 2016. (M23)
- [4] Hristov Nebojša, Kari Aleksandar, Jerković Damir, **Savić Slobodan** and Sirovatka Radoslav, „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: <https://doi.org/10.1515/msr-2015-0005>, 2015. (M23)
- [5] Todić Nenad, Savić Slobodan, Gordić Dušan, Petrović Radovan, Experimental Research of the Hydrodynamic Processes of an Axial Piston Water Hydraulic Pump, MACHINES, Vol.10, No.9, pp. -, ISSN 2075-1702, Doi <https://doi.org/10.3390/machines10090728>, 2022 (M22)



На основу свега наведеног у претходним тачкама овог извештаја Комисија доноси следећи

## ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ КОМИСИЈЕ

**Александра Живковић**, мастер инжењер индустријског инжењерства, испунила је све предвиђене услове за одобрење израде докторске дисертације.

Предложена тема докторске дисертације је оригинална и има научну заснованост. Предложена методологија израде докторске дисертације је у складу са научним принципима. Очекивани резултати докторске дисертације требало би да представљају оригинални научни приступ анализи утицаја термичких и механичких напрезања зидова цеви артиљеријског оруђа у току процеса опаљења.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу и Већу за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу да предложеној тему за докторску дисертацију:

### ДОПРИНОС ПРОУЧАВАЊУ ТЕРМИЧКОГ И МЕХАНИЧКОГ НАПРЕЗАЊА ЗИДОВА ЦЕВИ АРТИЉЕРИЈСКОГ ОРУЂА ДИНАМИЧКИМ ДЕЛОВАЊЕМ ПОГОНСКИХ БАРУТНИХ ГАСОВА У ТОКУ ПРОЦЕСА ОПАЉЕЊА

прихвати и одобри њену израду кандидату **Александри Живковић**, мастер инжењеру индустријског инжењерства.

Комисија предлаже да ментор ове докторске дисертације буде **др Слободан Савић**, редовни професор Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу.

У Крагујевцу,  
јул 2023. год.

#### КОМИСИЈА

1. 

**др Слободан Савић**, редовни професор, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, ужа научна област: Примењена механика, датум избора у звање: 29.09.2016. год. – председник комисије, ментор.

2. 

**др Владимир П. Миловановић**, ванредни професор, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, ужа научна област: Експериментална механика, датум избора у звање: 12.07.2022. год. – члан.

3. 

**др Владимир Дунјић**, ванредни професор, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, ужа научна област: Примењена механика, датум избора у звање: 14.07.2021. год. – члан.

4. 

**др Небојша Христов**, доцент, Војна академија Универзитета одбране у Београду, ужа научна област: Системи наоружања, датум избора у звање: 24.05.2022. године – члан

5. 

**др Дамир Јерковић**, ванредни професор, Војна академија Универзитета одбране у Београду, ужа научна област: Системи наоружања, датум избора у звање: 24.05.2022. године – члан.