

Факултет Машински

УНИВЕРЗИТЕТ У
БЕОГРАДУВеће научних области
техничких наука

146/5

(Број захтева)

(Назив већа научне области
коме се захтев упућује)

03.04.2025.

(Датум)

ЗАХТЕВ

**за давање сагласности на одлуку о прихватању теме докторске дисертације и о
одређивању ментора**

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тач. 3. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета", број 186/15-пречишћени текст и 189/16), дате сагласност на одлуку о прихватању теме докторске дисертације:

**РАЗВОЈ И ОПТИМИЗАЦИЈА ТЕРМОБАРИЧНИХ ЕКСПЛОЗИВНИХ ПУЊЕЊА НА
БАЗИ ВИСОКОЕНЕРГЕТСКИХ СМЕША**

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ: Машинство (ужа научна област: војно машинство –системи
наоружања)

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног од родитеља и презиме кандидата:
БИЉАНА (ДУШИЦА) ЈОВАНОВИЋ
2. Претходно образовање (назив и седиште факултета, студијски програм):
Универзитет у Београду - Машински факултет, Краљице Марије 16, 11120 Београд 35
3. Година завршетка претходног нивоа студија: 1994.
4. Година уписа на докторске студије: 2019.
5. Назив студијског програма докторских студија: Машинско инжењерство

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

Име и презиме ментора: Предраг Елек

Звање: редовни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Jovanović, B., Novaković, N., Milošević Govedarović, S., Kurko, S., Stamenić, Lj., Grbović Novaković, J., Elek, P.: The Influence of Al12Mg17 Compound Concentration in High-Energy Mixtures on Thermobaric Systems Characteristics, Propellants, Explosives, Pyrotechnics, e12035, doi.org/10.1002/prep.12035, 2025. (M22)
2. Alameri, O., Elek, P.: Efficiency Analysis of Fragmentation Warheads Through Advanced Modeling Techniques: Experimental and Numerical Study, Shock and Vibration, Vol. 2024, Article ID 3288510, 20 pages, ISSN 1070-9622, IF(2023)=1.2. (M23)
3. Marković, M., Elek, P., Jaramaz, D., Jevtić, D., Đurović, R., Jaramaz, L., Micković, D.: Analysis of parameters influencing the pressure and temperature distribution in the gunbore evacuator, Thermal Science, Vol. 27, No. 1B, 2023, pp. 727-738, ISSN 0354-9836, IF(2023)=1.1. (M23)
4. Alazeezi, M., Popović, N., Elek, P.: Two-component propellant grain for rocket motor: Combustion analysis and geometric optimization, Thermal Science, Vol. 26, No. 2, 2022, pp. 1567-1578, ISSN 0354-9836, IF(2022)=1.7. (M23)
5. Elek, P., Jaramaz, S., Micković, D., Miloradović, N.: Experimental and numerical investigation of perforation of thin steel plates by deformable steel penetrators, Thin-Walled Structures, Vol. 102, May 2016, pp. 58-67, ISSN 0263-8231, IF(2016)=2.829. (M21)

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

Име и презиме ментора: Јасмина Грбовић Новаковић

Звање: научни саветник ИИН Винча Универзитет у Београду

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Wang, Jing; Liu, Jiaxuan; Wu, Zhen; Zhang, Zaoxiao; Grbović Novaković, Jasmina; Yang, Fusheng A novel design for fin profile in metal hydride reactor towards heat transfer enhancement: Considering the limitation of the entransy theory in practical application, International Journal of Heat and Mass Transfer, 235 (2024) 126221 (M21)
2. Pantić, Tijana; Mamula, B Paskaš; Soderžnik, K Žagar; Kurko, Sandra; Milanović, Igor; Novaković, N; Šturm, S; Drev, Sandra; Novaković Grbović J; Govedarović Milošević S; ,The influence of defects on hydrogen sorption from Mg–V thin films, International Journal of Hydrogen Energy, 54, (2024) 457-466 (M21)
3. Mitrović-Rajić, Anđela; Pantić, Tijana; Milošević-Govedarović, Sanja; Paskaš-Mamula, Bojana; Filipović, Nenad; Grbović-Novaković, Jasmina; Dimitrijević, Silvana; Influence of mechanochemical activation on the thermal behavior of pyrophyllite, Science of Sintering, 18-18, 2023 (M22)

- 4.Mitrović Rajić, Anđela; Gloginjić, Marko; Mravik, Željko ; Milošević Govedarović, Sanja ; Novaković, Nikola ; Pantić, Tijana ; Grbović Novaković, Jasmina, Raman spectroscopy study of structural changes in pyrophyllite ore minerals induced by mechanochemical milling, Powder Technology, 448 (2024) 120291-120291 doi: 10.1016/j.powtec.2024.120291 (M21)
- 5.Sekulić, Zorana; Novaković, Jasmina Grbović; Babić, Bojana; Prvulović, Milica; Milanović, Igor; Novaković, Nikola; Rajnović, Dragan; Filipović, Nenad; Asanović, Vanja; The Catalytic Effect of Vanadium on Sorption Properties of MgH₂-Based Nanocomposites Obtained Using Low Milling Time, Materials ,16, 15, 5480, 2023 (M21)
- 6.Wang, Jing; Dai, Min; Liu, Jiaxuan; Wu, Zhen; Zhang, Zaoxiao; Novaković, Jasmina Grbović; Yang, Fusheng; A novel design for fin profile in metal hydride reactor towards heat transfer enhancement: Theoretical derivations and analysis ,Journal of Energy Storage, 72, 108570, 2023 (M21a)
- 7.Igor Milanović, Sanja Milošević Govedarović, Sandra Kurko, Mirjana Medić Ilić, Dragan Rajnović, Slobodan Cvetković, Jasmina Grbović Novaković, Improving of hydrogen desorption kinetics of MgH₂ by NaNH₂ addition: Interplay between microstructure and chemical reaction International Journal of Hydrogen Energy 47(69) (2022) 29858-29865 (M21)
- 8.Fusheng Yang, Jing Wang, Yang Zhang, Zhen Wu, Zaoxiao Zhang, Fengqi Zhao, Jacques Huot, Jasmina Grbović Novaković, Nikola Novaković, Recent progress on the development of high entropy alloys (HEAs) for solid hydrogen storage: A review, International Journal of Hydrogen Energy 47 (21) (2022) 11236-11249 (M21)
- 9.Slobodan M.Cvetković, Tatjana Kaluđerović Radoičić, Jasmina Grbović Novaković,, Vlado Kovačević, Zorica R.Lopičić,Vladimir Adamović, Mirjana Lj. Kijevčanin, Renewable hydrogen production perspective in Serbia via biogas generated from food processing wastewaters Journal of Cleaner Production 363 (2022) 132-142 (M21a)
- 10.S.Kurko, B.Paskas Mamula, J.Grbovic Novkaovic, N.Novakovic DFT study of boron doped MgH₂: bonding mechanism, hydrogen diffusion and desorption, International Journal of Hydrogen Energy, 45(14) (2020) 7947-7957, (M21a)

Обавештавамо вас да је Наставно – научно веће на седници одржаној 03.04.2025. године размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације јер садржи оригиналну идеју и да је од значаја за развој науке, примену њених резултата, односно развој научне мисли уопште.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Прилог:

1. Одлука Наставно-научног већа о прихватању теме и одређивању ментора
2. Извештај Комисије о оцени научне заснованости теме докторске дисертације

Напомена: Факултет доставља Универзитету захтев са прилозима у електронској форми и једном писаном примерку за архиву Универзитета

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -
Број: 146/5
Датум: 03.04.2025. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу члана 40. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 88/2017, 73/2018, 27/2018 – др. закон 67/2019, 6/2020 – др. закони, 11/2021 – аутентично тумачење, 67/2021, 67/2021 – др. закон и 76/2023), члана 64. Статута Машинског факултета – пречишћени текст (број 1136/4 од 28.06.2021. године), Одлуке о изменама и допунама Статута број 239/6 од 17.02.2023. године и члана 38. Правилника о докторским студијама на Универзитету у Београду - Машинском факултету, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници од 03.04.2025. године донело је:

О Д Л У К У
о прихватању Извештаја Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације

Прихвата се Извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата **БИЉАНЕ ЈОВАНОВИЋ**, дипл. инж. маш. под насловом „**РАЗВОЈ И ОПТИМИЗАЦИЈА ТЕРМОБАРИЧНИХ ЕКСПЛОЗИВНИХ ПУЊЕЊА НА БАЗИ ВИСОКОЕНЕРГЕТСКИХ СМЕША**“.

Извештај је поднела Комисија у саставу: др Милош Марковић, ванр. проф., др Александар Миливојевић, ред. проф. и др Сања Милошевић Говедаровић, виши научни сарадник, ИНН Винча Београд.

За менторе докторске дисертације именују се др Предраг Елек, ред. проф. и др Јасмина Грбовић Новаковић, научни саветник, ИНН Винча, Универзитет у Београду.

Одлуку доставити: Универзитету у Београду, кандидату, ментору и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Владимир Поповић

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Извештај о оцени подобности теме и кандидата **Биљане Д. Јовановић**,
дипл.инж.маш. за израду докторске дисертације

Одлуком Наставно-научног већа Универзитета у Београду - Машинског факултета бр 146/3 од 06.03.2025. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације под називом „**Развој и оптимизација термобаричних експлозивних пуњења на бази високоенергетских смеша**“ кандидата Биљане Д. Јовановић, дипл.инж.маш.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Биљана Јовановић је рођена 7. марта 1970. године у Књажевцу, СФР Југославија, где је завршила основну и средњу школу. Машински факултет Универзитета у Београду уписала је 1988. године, а дипломирала је на Смеру за војно машинство у октобру 1994. године са средњом оценом 9,17 у току студија и оценом 10 на дипломском испиту. Докторске студије на Машинском факултету у Београду уписала је 2019. године.

Од јануара 1995. до јануара 1996. године била је запослена у Институту за нуклеарне науке „ВИНЧА“ у Лабораторији за термотехнику и енергетику (140) као истраживач-сарадник. Као члан групе за процесну технику бавила се проблемима преноса топлоте и материје у капиларнопорозним телима. Из тог периода аутор је једног рада категорије М64.

Од јануара 1996. до маја 2005. године радила је у Војнотехничком институту у Београду у Сектору за ракетно наоружање. У току овог периода њене најважније активности биле су:

- прорачун и мерење утицаја вибрација у току гађања на механичке карактеристике конструкције вишецевног лансера Пламен Д, као и утицај вибрација лансера на растурање погодака на циљу;
- конструкцију лансера за школску ракету за обуку војника у руковању системом Огањ;
- прорачун чврстоће, пројектовање и конструкција металних и композитних структура.

Посебно, на пројекту противоклопне вођене ракете Бумбар најважнија ангажовања кандидаткиње односила су се на следеће:

- статичка испитивања маршевског ракетног мотора (МРМ) Бумбар на Опитној станици Жарково (ОСЖ);
- израда математичког модела лета ракете;
- израда алгоритма система вођења ракете;
- теоријска и експериментална анализа процеса струјања продуката сагоревања МРМ, на основу којих је побољшана конструкција млазнице и повећана вредност управљачке силе ракете;
- аеродинамички прорачун крила и дефинисање нападног угла крила у циљу постизања оптималне вредности угаоне брзине са становишта дејства управљачке силе;
- учешће у конструисању електромеханичког склопа система управљања вектором потиска;
- конструкција електромеханичког склопа за испитивање трасера ракете;
- адаптација на кумулативној бојној глави ПОС-БД за коришћење у ракети Бумбар за потребе прототипске партије;
- испитивање понашања микрокабла у почетној фази лета.

Од октобра 2005. године запослена је у Институту за нуклеарне науке „ВИНЧА“ у Лабораторији за физику (010). Звање стручни саветник стекла је 2013. године. До сада је учествовала у реализацији следећих пројеката финансираних од стране Министарства науке, технолошког развоја и иновација: *Пројект „Тесла“: наука са акцелераторима и акцелераторске технологије* (2005-2007), *Физика и хемија са јонским сноповима* (2008-2019), *Пројект ФАМА (FACility for Modification and Analysis of materials with ion beams)* (2019-), *Дизајн резервоара за складиштење водоника у чврстом стању за примену у стационарним стабилним изворима напајања* (2020-2021) и *Solid state hydrogen tank for stable power supply applications* (2023-2024).

Као члан тима за изградњу Акцелераторске инсталације ТЕСЛА, у оквиру националног пројекта ТЕСЛА, била је ангажована на пројектовању и изградњи вакуумског система Циклотрона ВИНСИ, и учествовала је и у пројектовању инфраструктурних система. Након прекида финансирања пројекта ТЕСЛА, ангажована је најпре на пројекту Физика и хемија са јонским сноповима, а затим на пројекту ФАМА, у оквиру којег су се њене најважније активности до сада односиле на следеће послове:

- доградња и одржавање вакуумског система Јонског извора мВИНИС и Канала за модификацију материјала;
- пројектовање и реализација вакуумског система Канала Ц1;
- пројектовање, конструкција и одржавање стандардних и нестандартних делова опреме Јонског извора мВИНИС и Канала за модификацију материјала;
- конструкција носача и мете за каналисање са четири степена слободе кретања у саставу Канала за модификацију материјала;
- конструкција екстракционог система Јонског извора мВИНИС;
- конструкција система за мерење струје јонског снопа;
- конструкција система за увођење гасовитих супстанци у Јонски извор мВИНИС;
- конструкција електричног скенера Јонског извора пВИНИС;
- пројектовање и реализација побољшаног система за вакумирање интеракционе коморе Јонског извора пВИНИС;

- пројектовање и реализација система воденог хлађења, пнеуматског система, система издувних гасова, итд.

Коаутор је два рада из области јонских снопова објављених у водећем часопису националног значаја категорије M51, саопштења са скупа националног значаја штампаног у целини (M63) и више техничких решења категорије M85.

Као члан Центра изузетних вредности за обновљиву и водоничну енергију CONVINCЕ (<https://ives.edu.rs/CONVINCE/>), у оквиру пројекта „Дизајн резервоара за складиштење водоника у чврстом стању за примену у стационарним стабилним изворима напајања“ конструисала је инсталацију за освајање посебне методе производње магнезијум хидрида на температурама преко 600 K и притиску до 5 МПа. Ово иновативно техничко решење је реконструисала у циљу комерцијализације кроз пројект *Solid state hydrogen tank for stable power supply applications*.

Један је од оснивача и чланова удружења Српско вакуумско друштво (<http://www.svd.org.rs/>), чији је тренутно секретар.

Од почетка своје професионалне каријере активно користи велики број програмских алата за пројектовање помоћу рачунара (CAD), пре свега AutoCAD и Autodesk Inventor. За програм AutoCAD развила је апликације које убрзавају процес пројектовања и израду конструкционе документације. У оквиру истраживачке делатности, користи софтверске пакете COMSOL Multiphysics и Ansys Fluent. Поред основних програмских пакета, користи и MathCAD, OriginLab, CorelDraw.

Говори српски (матерњи језик) и енглески језик.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидаткиња Биљана Д. Јовановић је уписала Докторске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду школске 2019/20. године (бр. индекса Д20/19). Од уписа 2019. године све време је имала активни статус студента Докторских студија и тренутно је уписана на трећу годину. Има положене све испите предвиђене Планом усавршавања студената Докторских студија, укључујући и Пројекат идеје докторске дисертације, чиме је остварила укупно 120 ЕСПБ бодова и испунила основни услов за пријаву докторске дисертације. Списак положених испита, оцена и остварених ЕСПБ приказан је у табели.

Поред научноистраживачких искустава стечених у току рада у Војнотехничком институту и Институту за нуклеарне науке „Винча“, од 2018. године члан је тима Института „Винча“ за научну и пословно-техничку сарадњу са ХК „Крушик“ Ваљево, уговор број 20/01-237. У оквиру ове сарадње, поред активности на дефинисању састава термобаричних пуњења, дала је предлог конструкције модификоване бојне главе ракете МАЉУТКА 2Ф. Модификација је извршена у циљу коришћења постојећих безбедних технологија, којима фабрика располаже, за израду термобаричних пуњења. Учествовала је у полигонским испитивањима бојних глава са парчадним, кумулативним и термобаричним дејством производње ХК „Крушик“ Ваљево.

Редни број	Предмет	Оцена	ЕСПБ
1	Виши курс математике	10 (десет)	5
2	Нумеричке методе	10 (десет)	5
3	ОМНИР и комуникације	10 (десет)	5
4	Истраживање и публиковање 1	10 (десет)	10
5	Истраживање и публиковање 2	10 (десет)	15
6	Одабрана поглавља из механике флуида	10 (десет)	5
7	Мерење деформација и напона	10 (десет)	5
8	Одабрана поглавља из простирања топлоте и супстанције	10 (десет)	5
9	Одабрана поглавља балистике на циљу	10 (десет)	5
10	Погон пројектила	10 (десет)	5
11	Ефикасност и поузданост наоружања	10 (десет)	5
12	Истраживање и публиковање 3	10 (десет)	20
13	Истраживање и публиковање 4	10 (десет)	8
14	Пројекат идеје докторске дисертације	10 (десет)	22

Списак објављених радова

Рад у истакнутом међународном часопису (M22)

1. **Jovanović, B.**, Novaković, N., Milošević Govedarović, S., Kurko, S., Stamenić, Lj., Grbović Novaković, J., Elek, P.: The Influence of $Al_{12}Mg_{17}$ Compound Concentration in High-Energy Mixtures on Thermobaric Systems Characteristics, *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, e12035, doi.org/10.1002/prep.12035, 2025.

Рад у водећем часопису националног значаја (M51)

1. И. Н. Телечки, И. М. Трајић, **Б. Д. Јовановић**, П. Д. Беличев: Нумерички модел транспорта протонског снопа кроз електрични скенер, *Техника*, Савез инжењера и техничара Србије, Вол. 73, Бр. 5, стр. 667-674, ISSN: 0040-2176, Београд (2018), DOI: 10.5937/tehnika1805667T.
2. J. Jovović, J. Cvetić, A. Dobrosavljević, T. Nedeljković, **B. Jovanović** and I. Draganić: MIVOC method at the mVINIS ion source, *Nuclear Technology and Radiation Protection*, Vol. 22, No. 2, pp. 10-14, Belgrade (2007).

Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини (M63)

1. **Б. Јовановић**, И. Трајић, В. Вујовић, М. Шиљеговић, Д. Мунитлак, Б. Бојовић и С. Петровић: Носач мете за каналисање јонских снопова, Зборник радова 54. Конференције ЕТРАН, 7-10. јуна 2010., Доњи Милановац, NT1.8-1 - NT1.8-4.

Саопштење са скупа националног значаја штампано у изводу (М64)

1. **Б. Јовановић**: Специфични топлотни капацитет промене стања влажних тела при процесу сушења, Изводи саопштења I Семинара младих истраживача, 18-19. октобар 1995., Београд, 100-101.

Техничка и развојна решења - Израда стандардизованог инструмента (М85)

1. М. Шиљеговић, А. Добросављевић, **Б. Јовановић**, В. Вујовић и Г. Љубибратић: Модификација екстракционог система Јонског извора мВИНИС: инжењерски пројект, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд, 2009.
2. М. Шиљеговић, , **Б. Јовановић**, В. Вујовић и А. Добросављевић: Систем за увођење гасовитих супстанци Јонског извора мВИНИС: инжењерски пројект, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд, 2009.
3. С. Петровић, **Б. Јовановић**, В. Вујовић, И. Трајић, М. Шиљеговић и Д. Мунитлак: Носач мете за каналисање са грејачем канала за модификацију материјала (ЛЗА): инжењерски пројект, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд, 2009.
4. В. Вујовић, Љ. Вукосављевић, А. Добросављевић, **Б. Јовановић**, В. Јоцић, И. Трајић, Д. Тирић и М. Шиљеговић: Инжењерски пројекат система за увођење гасовитих супстанци у Јонски извор М1: техничко решење, ревизија 1, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд, 2014.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Кандидаткиња Биљана Д. Јовановић је положила све испите на прве две године Докторских студија са највишом оценом. На основу овог резултата, приказа стечених искустава у инжењерској пракси, као и у области научноистраживачког рада у досадашњем раду, а посебно захваљујући вишегодишњем ангажовању у Војнотехничком институту и сарадњи са ХК „Крушик“ у области система наоружања, Комисија сматра да је кандидаткиња Биљана Д. Јовановић оспособљена за самостално истраживање које је потребно за реализацију докторске дисертације са предложеном темом.

2. Предмет и циљ истраживања

Експлозив је хемијско једињење или смеша хемијских једињења која у веома кратком временском интервалу услед хемијског разлагања може да ослободи велику количину енергије и гасовитих продуката на екстремно високом притиску и температури. Експлозиви имају најширу примену у одбрамбеној индустрији, док се у цивилне сврхе користе најчешће у рударској индустрији, за пробијање тунела и рушење напуштених објеката, за рашчишћавање терена у сврху изградње саобраћајне инфраструктуре, за разбијање подводних стена, у индустрији нафте и гаса, итд [1,2].

Према намени експлозивни се могу поделити на иницијалне или примарне, бризантне или секундарне, погонске експлозиве и пиротехничка средства [3]. Примарни експлозивни имају високу осетљивост на удар, трење, варнице и веома малу енергију активације, као и веома брз процес преласка из дефлаграције у детонацију, па се користе за иницирање детонације код бризантних експлозива код којих је потребна знатно већа енергија за активацију процеса детонације [1,4]. Детонацију код бризантних експлозива иницира велика количина енергије која је ослобођена након детонације примарног експлозива и саопштена у кратком временском интервалу. Иако су бризантни експлозивни слабо осетљиви на механичке или топлотне импулсе, њихова ефикасност, односно ефекат детонације, знатно је већи него у случају примарних експлозива [1,4].

Термобарични експлозивни представљају вишекомпонентне експлозивне смеше у којима су бризантни експлозивни „побољшани“ прахом једног или више метала, у циљу ослобађања знатно веће количине енергије по јединици масе након детонације, односно добијања знатно израженијег топлотног ефекта у односу на бризантне експлозиве уз рушеће дејство приближно истог или мало умањеног интензитета, док је време трајања дејства експлозиве вишеструко продужено [1,5]. Основне компоненте термобаричних експлозива су бризантни експлозив и метални прах једног или више метала, који представља метално гориво, уз могуће додавање оксидатора и везивне компоненте која служи као умреживач. Дејство термобаричних експлозива може се посматрати кроз три фазе: детонација, анаеробна фаза и аеробна фаза [5]. Након детонације и формирања ударног таласа, генерисана топлота доводи до иницијације сагоревања металног горива захваљујући присуству оксидатора или реакцијама са продуктима детонације, што представља анаеробну фазу; затим следи аеробна фаза, односно сагоревање преосталог металног горива у присуству кисеоника из околног ваздуха [5]. Аеробна фаза, која се у литератури назива и секундарно сагоревање, карактеристична је за термобаричне експлозиве и доминантна по времену трајања у односу на претходне две фазе; зона сагоревања металног горива формира ватрену лопту (engl. “fireball”) коју карактеришу висока температура и интензивна емисија топлотне енергије кроз њену површину у околину [5,6].

Термобарични експлозивни се израђују мешањем свих припадајућих компонената влажним (вискозним) или сувим поступком, и непосредно након тога се уливају или пресују у предвиђени простор, најчешће метално кућиште, кошуљицу бојне главе, и сл. Мане ливених термобаричних експлозива су скупа апаратура за израду, смањена безбедност при изради, као и неопходност релативно високог процента учешћа умреживача, што смањује укупни енергетски потенцијал пуњења. У литератури [6-8] се сусрећу два типа конфигурације термобаричних пуњења: хомогено термобарично пуњење код којег ливени или пресовани термобарични експлозив заузима целу запремину кућишта, и пуњење где је термобарични експлозив смештен око централног језгра од бризантног експлозива. Резултати испитивања у отвореном простору приказани у литератури [8] показују да се након детонације термобаричних пуњења са бризантним језгром добија већа вредност натпритиска, већа емисија светлости из ватрене лопте и већа количина ослобођене топлоте у односу на хомогена термобарична пуњења исте укупне масе.

По питању састава металног горива, код готово свих термобаричних експлозива који су у примени у овом тренутку присутан је прах алуминијума, због велике доступности у природи, релативно ниске цене, развијене технологије производње уз задовољавајућу вредност количине топлоте ослобођене сагоревањем.

Међутим, температура потребна за иницијацију процеса сагоревања праха алуминијума са честицама већим од 60 μm је веома висока и њена вредност углавном није мања од 2213 K [9], због чега се јавља проблем његовог припаљивања што за последицу има слабу ефикасност сагоревања, односно непотпуно сагоревање. Туркјар (Türker) [5] наводи да се мешањем алуминијума са магнезијумом снижава температура сагоревања мешавине и

значајно повећава ефикасност сагоревања јер магнезијум има значајно нижу температуру иницијације процеса сагоревања. Са друге стране, Фесел мл. (Fassell Jr) и сарадници [10] су показали да се на атмосферском притиску температура иницијације сагоревања магнезијумског праха, за коју наводе да износи 896 K, снижава када је магнезијум у контакту са алуминијумом на 796 K. У сврху снижавања температуре иницијације сагоревања алуминијумског праха такође су се показали учинковитим прахови легура титанијума и бора и легура алуминијум-магнезијум, као и магнезијум хидрид [11].

Испитивањем сагоревања прахова алуминијума различитих величина честица и прахова легура на бази магнезијума, бора и титана, као и њихових мешавина са алуминијумом, показано је да се мешањем алуминијума са поменутих легурама добија лакша иницијација процеса сагоревања, већа брзина сагоревања, потпуније сагоревање и виши притисци продуката сагоревања у односу на чист алуминијум, што важи за све испитиване величине честица алуминијума у распону од наночестица до микрочестица [11]. Узимајући у обзир да су прахови испитиваних легура садржали велики проценат честица величине приближно 60 μm , долази се до закључка да је употреба легура у комбинацији са алуминијумом већих величина честица погодна за практичне примене због лаке иницијације, велике количине ослобођене енергије, виших вредности притисака продуката сагоревања и задовољавајуће ефикасности сагоревања уз релативно ниску цену [11]. Такође је показано да се сагоревањем мешавине прахова алуминијума и легура алуминијум-магнезијум различитог међусобног односа масеног удела појединачних елемената добија већа вредност притиска продуката сагоревања у односу на смешу алуминијумског и магнезијумског праха истог масеног односа појединачних елемената [11].

Оптимална концентрација алуминијума у термобаричним експлозивима је предмет истраживања многих аутора [5,12]. Иако подиже вредност температуре која је потребна за иницијацију процеса сагоревања, повећање удела алуминијума значајно доприноси повећању укупне ослобођене количине топлоте након детонације термобаричног пуњења чак и у случају непотпуног сагоревања [1,6,12]. При сагоревању у отвореном простору у присуству вишка кисеоника ефекат додавања алуминијума бризантном експлозиву огледа се у повећању пречника и интензитета сјаја ватрене лопте, последично и температуре, као и у значајном продужењу времена њеног трајања, односно продужењу трајања секундарног сагоревања након иницијалне детонације [12]. Аутори овог рада такође су показали да додаток алуминијума бризантном експлозиву до неке границе даје већу вредност импулса натпритиска у односу на референтни експлозив у коме нема алуминијума.

У истраживањима утицаја величине честица алуминијумског праха на квалитет сагоревања показано је да прах алуминијума величине честица 0.1 μm , у поређењу са честицама мањим од 30 μm , даје већу вредност брзине сагоревања, знатно потпуније сагоревање и последично већу количину ослобођене топлоте у кратком временском интервалу, при испитивањима у калориметријској бомби [12]. Такође, истраживања показују да се температура иницијације сагоревања праха алуминијума чија је величина честица реда нанометра креће у распону од 833 K до 1073 K, што представља приближно упола мању вредност у односу на прах алуминијума са честицама већим од 60 μm [9]. При испитивањима термобаричних експлозива који садрже алуминијумски прах у отвореном простору није уочена значајна разлика у интензитету рушећег дејства за распон величине честица праха алуминијума од 3 μm до 40 μm , при чему се за све величине честица добија задовољавајућа вредност брзине сагоревања и потпуност сагоревања [11]. Ипак, брзина сагоревања металних прахова, чија је величина честица мања од 50 μm , у термобаричном експлозиву представља ману јер значајно скраћује време трајања секундарног сагоревања након детонације, односно време трајања топлотног ефекта [1]. Још једна мана величине честица алуминијумског праха која је мања од 50 μm је знатно виша цена у односу на прах са честицама већим од 50 μm .

Испитивања утицаја алуминијума и легуре алуминијум-магнезијум на брзину детонације термобаричног експлозива показала су да мешавина хексогена (RDX) и легуре алуминијум-магнезијум даје 10% већу брзину детонације у односу на мешавину RDX и алуминијума са истим процентуалним уделом метала [10].

Предмет истраживања у овом докторату биће термобарична експлозивна пуњења са централним језгром од бризантног експлозива. Међутим, уместо термобаричног експлозива у формалном смислу око бризантног језгра биће упресована високоенергетска смеша, која се добија мешањем металног праха једног или више метала, оксидатора и умреживача. Важно је нагласити да оваква смеша не садржи бризантни експлозив. Разлог овакве концепције је значајно већи топлотни потенцијал металног горива у односу на бризантни експлозив у фази секундарног сагоревања, као и повећана безбедност у току процеса синтезе смеше и њеног пресовања у кућиште у односу на класични термобарични експлозив.

Овакво експлозивно пуњење које чине високоенергетска смеша, тј. метално гориво без додатог експлозива и експлозивно језгро је према сазнањима аутора иновативна технологија која није приказана у расположивој литератури, те недовољно истражена, и биће предмет ове дисертације.

Циљ истраживања у оквиру докторске дисертације биће да се покаже да дејство ових експлозивних пуњења одговара дејству пуњења са класичним термобаричним експлозивом, као и да се испита утицај масеног удела појединих метала у високоенергетској смеси на основне параметре дејства на циљу, односно рушећег дејства и топлотног ефекта предложеног експлозивног пуњења.

2.1. Коришћени библиографски извори – преглед референци

- [1] T. M. Klapötke, Chemistry of High-Energy materials, 5th Edition, De Gruyter, Berlin, Boston (2019).
- [2] Z. Zhang: Rock Fracture and Blasting: Theory and Applications, Elsevier Science, ISBN: 9780128027042, (2016).
- [3] M. Sućeska, Test Methods for Explosives, Springer Science & Business Media, New York (1995).
- [4] J. Akhavan, The Chemistry of Explosives, 2nd Edition, The Royal Society of Chemistry, Cambridge (2004).
- [5] L. Türker, Thermobaric and enhanced blast explosives (TBX and EBX), *Defence Technology* 12(6) (2016), 423-445.
- [6] L. Maiz, W. A. Trzciński, A Method to Investigate the Confined Explosion of Thermobaric and Enhanced Blast Explosives, *American Journal of Engineering Research(AJER)* 7(4) (2018), 139-147.
- [7] A. K. Mohamed, H. E. Mostafa, S. Elbasuney, Nanoscopic fuel-rich thermobaric formulations: Chemical composition optimization and sustained secondary combustion shock wave modulation, *Journal of Hazardous Materials* 301 (2016), 492-503.
- [8] S. Kolev, T. Tsonev, Solid state fuel-air explosives with enhanced power and stability, 46th International Annual Conference of Fraunhofer ICT, Karlsruhe, Germany (2015).
- [9] M. A. Trunov, M. Schoenitz, and E. L. Dreizin, Ignition of Aluminum Powders Under Different Experimental Conditions, *Propellants, Explosives, Pyrotechnics* 30(1) (2005), 36-43.
- [10] W. M. Fassell, Jr, L. B. Gulbransen, J. R. Lewis and J. H. Hamilton, Ignition Temperatures of Magnesium And Magnesium Alloys, *The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society* 3(7) (1951), 522-528.

- [11] E. Shtessel, E. Dreizin, High Energy Metallic Mechanical Alloys for New Explosives and Incendiary Devices with Controllable Explosion Parameters, SBIR Phase I Final Report, Exotherm Corporation, Camden, NJ, USA and New Jersey Institute of Technology, Newark, NJ, USA (2001).
- [12] A. R. Davis, S. D. Hall and G. D. Knowlton, Detonation Calorimeter: Application and Operation for Thermobaric Explosive Characterization and Evaluation, Proceedings of the 36th North American Thermal Analysis Society, Atlanta, GA, USA (2008).

3. Полазне хипотезе

На основу прегледа доступне литературе биће усвојен следећи састав високоенергетских смеша које ће бити предмет истраживања.

Основни састојак металног горива високоенергетских смеша биће алуминијум. Поред алуминијума, високоенергетска смеша ће садржати и магнезијум или легуру алуминијума и магнезијума ради лакшег и поузданијег процеса припаљивања алуминијума и последично потпунијег сагоревања. Метали који ће бити коришћени за синтезу високоенергетских смеша биће у облику праха величине честица веће од 60 μm .

Поред металног горива, високоенергетске смеше ће садржати оксидатор и везивну компоненту. Као оксидатори биће коришћени калијум перхлорат и амонијум перхлорат, а као везивне супстанце аралдит и полибутадиен са хидроксилним завршецима.

За термобарична експлозивна пуњења са високоенергетским смешама описаног састава усвајају се следеће хипотезе:

- Предложена нова концепција термобаричних експлозивних пуњења након детонације даће резултате који су квалитативно упоредиви са одговарајућим резултатима детонације класичних термобаричних експлозива доступних у литератури.
- За описани састав високоенергетске смеше постоји оптимални међусобни однос компонената металног горива са аспекта рушећег дејства и топлотног ефекта.

4. Научне методе истраживања

У оквиру израде докторске дисертације са предложеном темом користиће се следеће научне методе истраживања:

- Преглед и анализа расположиве литературе, односно систематизација претходних сазнања и резултата из области поступака формирања високоенергетских смеша, као и масених удела и величине честица металних прахова у високоенергетским смешама и термобаричним експлозивима.
- Карактеризација полазних супстанци за формирање високоенергетских смеша. Методе карактеризације материјала које ће бити коришћене за потребе израде ове дисертације су рендгеноструктурна анализа, метода дифракције ласерске светлости и скенирајућа електронска микроскопија.
- Испитивање микроструктуре узорака високоенергетских смеша формираних у лабораторијским условима методом оптичке микроскопије.
- Испитивање сагоревања формираних високоенергетских смеша у лабораторијским условима уз мерење брзине сагоревања, при сагоревању у отвореном простору, и притиска продуката сагоревања, при сагоревању у одговарајућој комори.

- Испитивање термобаричних пуњења са изабраним високоенергетским смешама детонацијом у отвореном простору и мерење параметара који су релевантни за оцену интензитета рушећег дејства термобаричног пуњења и квалитета сагоревања високоенергетске смеше.

5. Очекивани научни допринос

Циљ истраживања у оквиру ове дисертације је да се дизајнира и испита иновативна форма термобаричног пуњења са високоенергетском смешом уз оптимизацију масених удела њених конституената, полазећи од високог топлотног потенцијала, лаке доступности и ниске цене метала који улазе у њен састав, као и једноставности и безбедности поступка њене синтезе.

Очекивани научни допринос истраживања представља нова концепција термобаричних експлозивних пуњења, формирана са високоенергетском смешом у чији састав улазе алуминијум и легура алуминијум-магнезијум, уз оптимизацију масеног удела легуре у металном гориву са аспекта рушећег дејства и одрживости димензија ватрене лопте у току секундарног сагоревања високоенергетске смеше, односно ефективног трајања топлотног дејства.

6. План истраживања и структура рада

Истраживање у оквиру предложене дисертације обухватиће шест фаза, које уједно дефинишу структуру поглавља предложене докторске дисертације.

Прва фаза ће се односити на детаљан преглед расположиве релевантне литературе из области енергетских материјала, састава металних горива, термобаричних експлозива и термобаричних експлозивних пуњења.

У другој фази ће се извршити микроструктурна и морфолошка карактеризација полазних супстанци, а након тога и синтеза одређеног броја високоенергетских смеша уз варирање састава за потребе лабораторијских испитивања. Након синтезе и потпуног умрежавања, испитаће се микроструктура високоенергетских смеша, као и њихове физичке карактеристике.

У трећој фази ће бити испитано сагоревање узорака умрежених високоенергетских смеша уз мерење брзине сагоревања при испитивању на отвореном и притиска продуката сагоревања при испитивању у комори. Анализом добијених резултата дефинисаће се састав високоенергетских смеша које ће представљати компоненте термобаричних система намењених за полигонско испитивање.

Четврта фаза ће представљати детонацију термобаричних експлозивних пуњења на полигону, уз мерење промене притиска и величине ватрене лопте, и обраду резултата мерења који су релевантни за анализу.

Пета фаза ће обухватити преглед и дискусију резултата мерења са полигонских испитивања термобаричних система.

Шеста фаза ће представљати закључна разматрања добијених резултата и предлоге за даља истраживања у овој области.

7. Закључак и предлог

На основу изложене анализе пријављене теме докторске дисертације кандидаткиње Биљане Д. Јовановић, дипл. инж. маш., архивираних под редним бројем 146/1 од 28. јануара 2025. године, Комисија за оцену научне заснованости теме закључује да је предложена тема научно утемељена и актуелна. Такође, Комисија закључује да кандидаткиња испуњава све услове прописане Законом о високом образовању и Статутом Машинског факултета за израду докторске дисертације са предложеном темом. На основу наведеног Комисија предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета Универзитета у Београду да се кандидату **Биљани Д. Јовановић, дипл. инж. маш.** одобри израда докторске дисертације са темом

Развој и оптимизација термобаричних експлозивних пуњења на бази високоенергетских смеша.

Тема припада научној области машинско инжењерство, ужа научна област: војно машинство -системи наоружања, за коју је Машински факултет Универзитета у Београду матичан.

За менторе предметне дисертације предлажу се:

др Предраг Елек, редовни професор на Катедри за системе наоружања Машинског факултета Универзитета у Београду, који у претходних десет година има девет објављених радова у научним часописима са SCIE Web of Science листе из области система наоружања

и

др Јасмина Грбовић Новаковић, научни саветник Института за нуклеарне науке „Винча“, Институт од националног значаја за Републику Србију, Универзитет у Београду, која у претходних десет година има десет објављених радова у научним часописима са SCIE Web of Science листе из области хемије високоенергетских материјала.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
др Милош Марковић, ванредни професор
Универзитет у Београду - Машински факултет

.....
др Александар Миливојевић, редовни професор
Универзитет у Београду - Машински факултет

.....
др Сања Милошевић Говедаровић, виши научни
сарадник, Институт за нуклеарне науке „Винча“,
Институт од националног значаја за Републику
Србију, Универзитет у Београду