

Чувати до краја 2028. године
Функција 12, редни број 02
14.02.2025. год. пк. Р. Каркалић
(датум) (обрађивач)

пуковник ред. проф. др Радован Каркалић
ред. проф. др Александар Д. Маринковић
потпуковник доц. др Саша Брзић

Оцена научне заснованости теме
докторске дисертације, **извештај.-**

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ВОЈНЕ АКАДЕМИЈЕ

Одлуком Наставно-научног већа Војне академије бр 360-29 од 03.02.2025. године, одређена је Комисија за оцену научне заснованости теме докторске дисертације студента Докторских академских студија Технолошко инжењерство материјала и заштите (ТИМЗ) кпк Мирјане Крстовић, под радним називом:

„Истраживање могућности примене калориметрије у квантификацији термалног ефекта и оптимизацији састава термобаричних експлозива“

Након проучавања пријаве теме докторске дисертације у складу са чланом 4. Правилника о пријави, изради и одбрани докторске дисертације и промоцији доктора наука (СВЛ бр. 07/24), Комисија подноси следећи,

ИЗВЕШТАЈ

1. ОЦЕНА ИДЕЈНОГ ПРОЈЕКТА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Кандидаткиња кпк Мирјана Крстовић је у идејном пројекту докторске дисертације предложила радни наслов теме **„Истраживање могућности примене калориметрије у квантификацији термалног ефекта и оптимизацији састава термобаричних експлозива“**.

Научно истраживање које ће бити спроведено у оквиру дисертације се односи на могућност развоја методе која би омогућила да се на уређају за изопериболичку калориметрију изврши квантификација термалног ефекта термобаричних експлозива (ТБЕ). Квантификацијом термалног ефекта ТБЕ применом калориметријске методе постојала би могућност испитивања далеко ширег дијапазона узорака, те би само они састави чије су перформансе задовољавајуће или обећавајуће биле подвргнуте полигонским тестовима. Лабораторијска тестирања термобаричних састава у различитим атмосферама (инертној, ваздуху и кисеонику) директно би утицала на одабир одговарајућих компоненти и за формулацију термобаричних састава, јер би и свака појединачна компонента могла бити испитана и, захваљујући методи, дефинисани оптимални масени удели оксидатора и метала у праху. Још једна од предности методе изопериболичке

калориметрије јесте што омогућава испитивање не само чврстих већ и течних и узорака конзистенције гела, чиме се додатно проширују могућности одабира компонената које ће бити укључене у експлозивне формулације.

1.1 Научни проблем

Научни циљ истраживања у оквиру ове дисертације је утврђивање могућности за примену методе калориметрије и дефинисање оптималних параметара испитивања ТБЕ овом методом, оптимизације њихових формулација ради постизања побољшаних перформанси, као и подизање нивоа знања о могућностима оптимизације састава ТБЕ али и других енергетских формулација применом ове методе, у различитим условима испитивања. Како расте потражња за термобаричним експлозивима и експлозивним пуњењима, намеће се и потреба за њиховим бржим, безбеднијим и економичнијим развојем и оптимизацијом формулација. Актуелна методологија испитивања термобаричног ефекта ослања се на полигонска испитивања праћењем параметара натпритиска ударног таласа у ваздуху (максималног натпритиска, трајања позитивне фазе притиска и импулса притиска) и праћењем топлотног ефекта детонације у околини места иницијације узорка термобаричног експлозива/експлозивног пуњења.

Један од циљева реализације предложеног истраживања је и смањење ризика у раду са експлозивним материјама у фази развоја, кроз превенцију нежељених ситуација, уз драстичну уштеду времена и материјалних ресурса. Применом предложене методологије омогућио би се олакшан избор компонената за уградњу у експлозивне формулације, рад са различитим формама ТБЕ, рад са веома малим узорцима, што води ка успешнијем очувању безбедности људи, имовине и животне средине.

1.2 Предмет истраживања

Савремени састави ТБЕ могу имати најразличитије формулације, јер се присуство и удео сваке од компонената другачије одражава на термални ефекат термобаричних експлозива. У свету постоје различите експерименталне методе којима се феномен термобаричне експлозије описује и квантификује, али може се рећи да се актуелна методологија испитивања термобаричног ефекта ослања на полигонска испитивања праћењем параметара натпритиска ударног таласа у ваздуху. Такве методе захтевају врло сложена полигонска испитивања и софистицирану опрему намењену да прати параметре какви су притисак и брзина детонације као и интензитет термалног ефекта. То изискује ангажовање великог броја људи, инсталацију сложене и захтевне опреме за праћење кључних карактеристика, реалне масе и димензије експлозивних пуњења и значајне временске и финансијске ресурсе за реализацију таквих експеримената. Безбедносни ризик, који настаје као директна последица рада са убојним средствима, поготово оних из развоја, додатно се повећава с порастом масе тестираних пуњења.

Таква опитовања штетно утичу и на животну средину. У случају да експлозивна формулација нема оптималан однос нитраминске експлозивне компоненте, оксиданса и горива, може доћи до непотпуне декомпозиције и заостатка неизреагованих компонената смеше на простору извођења теренских испитивања, што за последицу може имати загађење воде, земљишта и ваздуха.

У одсуству адекватне методе, која би могла да на лабораторијском нивоу изврши квантификацију термалног ефекта, свака нова термобарична формулација, макар подразумевала само варирање масених односа компоненти, а камо ли увођење неких нових оксидатора, металних честица или полимерног везива, мора бити тестирана у

полигонским условима, што је врло компликовано и захтевно, а у крајњој линији и нерентабилно.

Праћење и квантификација термалног дела термобаричног ефекта је, због специфичности које треба да задовољи мерна опрема којом би се регистровале температуре у пољу ударног таласа, знатно компликованије и технички захтевније у односу на праћење надпритиска ударног таласа. У свету су ова мерења извођена употребом термопарова високе осетљивости и брзог одзива, а у новије време и применом оптичких пирометара и термовизијским снимањем. Температура и топлотни флуks најбољи су показатељ термалног ефекта. Међутим, мерење температуре генерисане детонацијом веома је компликовано, будући да су ове температуре веома високе и да се развијају веома брзо. Због тога опрема за таква мерења треба да буде веома осетљива, брзог одзива, а са друге стране, отпорна на високе температуре и притиске. Велика количина утрошених сировина при производњи пробних састава драстично би се смањила за потребе квантификације термалног ефекта методом калориметрије – са 500 g, 1 kg, или 5 kg на свега 0,2 g до 1 g.

Ако би се дефинисала лабораторијска метода за квантификацију термалног ефекта, финансијски, безбедносни и еколошки ефекти били би вишеструки, док би се број формулација високих енергетских перформанси драстично повећао. Постоје литературни подаци о покушајима примене компјутерског моделовања за предвиђање термалног ефекта термобаричних експлозива, али ове рачунске методе показале су значајна одступања од полигонских резултата, нарочито код вишекомпонентних смеша какве су термобаричне формулације. Такође, термодинамички кодови "не разликују" различите квалитете сировина које могу бити уграђене у смешу, нпр. сферичне од љуспастих честица, или честице нано- и микро-величине, што може знатно утицати на перформансе односно на ослобођену топлоту.

1.3 Хипотезе и начини њихове провере

Оквир предложеног истраживања у оквиру ове дисертације се одређује кроз једну општу, две посебне и укупно пет појединачних хипотеза.

Општа (генерална) хипотеза: Употребом методе калориметрије, у одговарајућим оптималним условима, могуће је извршити квантификацију термалног ефекта ТБЕ и дефинисати правце оптимизације састава ТБЕ.

Прва посебна хипотеза: Применом калориметрије, уз дефинисање оптималних услова испитивања, могуће је у различитим атмосферама одредити топлотни ефекат ТБЕ.

Прва појединачна хипотеза: Применом калориметрије могуће је у инертној атмосфери пратити топлотни ефекат ТБЕ.

Друга појединачна хипотеза: Применом калориметрије могуће је у атмосфери богатој кисеоником пратити топлотни ефекат ТБЕ.

Друга посебна хипотеза: Употребом методе калориметрије могуће је извршити оптимизацију састава ТБЕ у циљу развоја нових формулација побољшаних перформанси.

Трећа појединачна хипотеза: Применом калориметрије могуће је, кроз упоредну квантификацију термалног ефекта, оптимизовати састав чврстих ТБЕ на бази ливених РВХ са полимерним везивом, варирањем масеног удела појединачних компонената које улазе у састав формулације.

Четврта појединачна хипотеза: Применом калориметрије могуће је, кроз упоредну квантификацију термалног ефекта, оптимизовати састав гелираних ТБЕ на бази изопропил-нитрата и металних прахова.

Пета појединачна хипотеза: Применом калориметрије могуће је, кроз упоредну квантификацију термалног ефекта, извршити избор сировина адекватног квалитета за уградњу у ТБЕ формулације ради постизања оптималних перформанси, увођењем нових сировина или заменом постојећих унапређеним, квалитетнијим сировинама.

1.4 Методологија

Научни проблем условљава коришћење метода научног сазнања и истраживања, тако да ће у спровођењу испитивања за потребе ове дисертације бити коришћене различите научне методе. Од научних метода које могу да служе за стицање научних сазнања из свих научних области, у целокупном истраживању ће бити коришћене:

- дијалектичка метода, која чини полазну основу за примену осталих научних метода, којима се истражује предметни проблем;
- метода дефиниције - за потребе дефинисања одређених појмова у оквиру истраживања, за искључиво одређивање садржаја неког појма, који треба да садржи суштинске одлике предмета, појава или процеса који се дефинише (у случају предметног истраживања, односи се на дефинисање термобаричних експлозива, њихових компонената, механизма декомпозиције, термобаричног ефекта),
- методе индукције и дедукције – ради доношења закључака о општим сазнањима на основу посебних и појединачних, односно довођење у корелацију експерименталних резултата са полазним хипотезама заснованим на постојећим сазнањима и литературно доступним подацима, као и са рачунски добијеним вредностима проистеклим из примене термодинамичког компјутерског кода,
- компаративна метода - ради поређења различитих резултата (теоријских и експерименталних) истраживања, ради утврђивања сличности, разлика, идентичности и закључака,
- методе прибављања и обраде података – првенствено методе анализе садржаја и испитивања (експеримента); методом анализе садржаја биће образложена теоријска истраживања која се односе на предмет истраживања: термобаричне експлозиве, постојећу методологију квантификације термобаричног ефекта, начине могуће оптимизације њихових састава, физике детонације, термохемије разлагања експлозивних материја, технологије материјала, калориметрије, итд. Подаци прикупљени из објављених оригиналних научних и стручних радова домаће и стране литературе биће искоришћени за квалитетну припрему и спровођење испитивања методом експеримента.

1.5 Програм испитивања

Методологија експерименталних испитивања обухватиће више експерименталних сегмената и техника:

- У првом сегменту експерименталних испитивања биће извршена карактеризација улазних сировина за израду узорака термобаричних експлозива, пре свега карактеризација металних прахова применом скенирајуће електронске микроскопије, ради утврђивања морфологије честица, потом анализа величине и расподеле величина честица, као и термогравиметријска анализа металних прахова.

- У другом сегменту експерименталног рада биће припремљене изабране формулације термобаричних састава технологијом ливења РВХ и гелирања када је реч о саставима на бази изопропил-нитрата.
- У трећем сегменту биће извршено моделовање у термодинамичком коду – софтверском пакету EXPLO5 како би се добиле теоријске вредности топлоте декомпозиције ТБЕ под одређеним условима.
- У четвртном сегменту експеримента биће реализована калориметријска мерења енергетског потенцијала дефинисаних ТБЕ на узорцима мале масе, у атмосфери инертног гаса и атмосферама богатим кисеоником, које би симулирале услове реалне околине при активирању термобаричног наоружања на отвореном.
- У петом сегменту експерименталног рада биће извршена упоредна испитивања узорака веће масе изабраних ТБЕ састава у полигонским условима, како би се сагледала корелација између резултата добијених термовизијском техником и оптичким пирометром са калориметријским резултатима.
- У последњој фази рада, методом компаративне анализе биће упоређене теоријске вредности добијене применом рачунарског термодинамичког кода EXPLO5 са експерименталним резултатима лабораторијских испитивања малих узорака у калориметарској бомби и полигонских испитивања узорака веће масе, са детаљном статистичком анализом прикупљених и обрађених резултата, како би се сагледала ефикасност предложене методе.

Реализација истраживања планира се у лабораторијским капацитетима Војнотехничког института и полигонима ВС и МО.

1.6 Очекивани допринос дисертације

Очекује се да ће се допринос истраживања, обухваћен овом докторском дисертацијом, огледати у:

- са научног аспекта, бољем разумевању механизма декомпозиције термобаричних експлозива у различитим атмосферама и проширењу могућности квантификације термалне компоненте њиховог дејства;
- научна сазнања која ће проистећи као резултат овог истраживања могу допринети ширем пољу науке о материјалима и проучавању сагоревања, са потенцијалним интердисциплинарним применама;
- научно-техничке иновације и унапређење базе знања: истраживања унапредиће стручност у области калориметрије и термодинамичке анализе у науци о материјалима и истраживању експлозива;
- подизању нивоа фундаменталних знања о енергетском потенцијалу ТБЕ у зависности од састава и квалитета уграђених сировина;
- позитивном ефекту на еколошке и безбедносне аспекте испитивања и развоја ТБЕ и ЕМ, смањењем утицаја на животну средину: ефикаснији експлозиви минимизирају ослобађање неизреагованих остатака и штетних нуспроизвода, али првенствено смањењем количине која се користи у калориметријском испитивању у односу на полигонска испитивања, која имају штетне последице по околину;
- повећана безбедност: боље разумевање термалних ефеката смањује ризик од ненамерних детонација током складиштења, руковања и примене;

- унапређењу могућности бржег, економичнијег и безбеднијег развоја и оптимизације састава ТБЕ, ослањањем на нову егзактну и поуздану лабораторијску методу;
- унапређењу развојних, производних и извозних капацитета Републике Србије и одбрамбене индустрије Србије, чиме би се подстакло економски раст и
- подизање одбрамбених капацитета Војске Србије, као последица могућег постизања повећане ефикасности експлозива: оптимизацијом термобаричних експлозива Република Србија ће бити у могућности да развије ефикаснију муницију са већим енергетским перформансама.

1.7 Литература

У идејном пројекту докторске дисертације наведено је 25 релевантних библиографских извора који ће се, између осталих, користити током њене израде.

1.8 Закључак о подобности теме

На основу анализе идејног пројекта докторске дисертације, комисија је закључила:

- изабрани проблем истраживања представља научни проблем;
- проблем је добро дефинисан и повезан са постојећим сазнањима из области испитивања експлозивних материја;
- основна хипотеза је релевантна у односу на дефинисани проблем истраживања;
- одабране методе и програм истраживања омогућавају проверу хипотезе;
- наведена литература је релевантна за предмет истраживања;
- наслов теме одговара предмету истраживања и
- докторска дисертација припада ужој научној области Материјали и заштита.

2. ОЦЕНА ПОДОБНОСТИ КАНДИДАТА

2.1. Биографски подаци о кандидаткињи

Кандидаткиња кпк Мирјана Крстовић је рођена 08.08.1988. године у Љубљани, СР. Словенија, СФРЈ. Војну академију у Београду, студијски програм Војнохемијско инжењерство је завршила 10.09.2011. године са просечном оценом студија 8,41. Назив њеног завршног рада гласи: „Системи обележавања убојних средстава у НАТО“. Мастер академске студије је завршила на Војној академији СП МАС ТИМЗ 22.12.2021. године са просечном оценом 9,89. Назив њеног мастер рада гласи: „Утицај нискомолекуларних триола на карактеристике композитних ракетних горива“. Запослена је на ВТИ на месту водећи истраживач у Сектору за материјале и заштиту. Докторске студије ДАС ТИМЗ на Војној академији је уписала 2022. године.

2.2. Објављени радови кандидаткиње

Кандидаткиња кпк Мирјана Крстовић објавила 15 научних и стручних радова у домаћим часописима и на домаћим и страним конференцијама (подаци са портала еНаука).

1. Krstović, M., Jelisavac, Lj., Bajramović, D., Dimić, M., Petković-Cvetković, J., & Brzić, S. Determination Of The Heat Of Combustion Of Double-Base Gunpowder And Rocket Propellants By Upgraded Calorimeter System. ОТЕН 2020. (2020).

2. Krstović, M., Rakić, M., Jelisavac, Lj., Dimić, M., Mojsilović, J., & Fidanovski, B. Comparative analysis for determination of stabilizer content in gunpowder and double base propellant by HPLC method. 10th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE ON DEFENSIVE TECHNOLOGIES. (2022).
3. Krstović, M., Mojsilović, J., Petković-Cvetković, J., Kostić, D., Nešić, J., & Ilić, J. Design of suitable pyrotechnic delay composition with widely used components. OTEH 2022. (2022).
4. Bajić, D., Krstović, M., Timotijević, M., Fidanovski, B., & Alil, A. Combustion of waste thermobaric explosive under controlled conditions as a source of energy. Proceedings - 11th International Conference on Renewable Electrical Power Sources, Belgrade, November 2 and 3, 2023, Chamber of Commerce and Industry of Serbia. Union of Mechanical and Electrotechnical Engineers and Technicians of Serbia (SMEITS). (2023).
5. Krstović, M., Bajić, D., Timotijević, M., Milojković, A., & Mijatov S. Influence of the technology of introducing plasticizer in the mixture of cast composite explosive on the processing properties. Međunarodni Kongres O Procesnoj Industriji PROCESING 2024. (2024).
6. Mojsilović, J., Dimitrijević, I., Krstović, M., Stupar, S., & Živanović, V. Carbon black vs charcoal: Influence on combustion properties of selected pyrotechnic compositions. 11th International Scientific Conference on Defensive Technologies - OTEX 2024 - Zbornik Radova. <https://doi.org/10.5937/oteh24043m>. (2024).
7. Bogdanov, J., Bajić, Z., Bajić, D., Sirovatka, P., Krstović, M., & Timotijević, M. Experimental research on TNT equivalent of different explosives based on air shock wave. New Trends in Research of Energetic Materials, Czech Republic, 2024. (2024).
8. Fidanovski, B., Mijatov, S., Krstović, M., Bogosavljević, M., & Dimić, M. Influence of different HMX/RDX contents in composite rocket propellants on the vacuum stability test results. 11th International Scientific Conference on Defensive Technologies - OTEX 2024 - Zbornik Radova. <https://doi.org/10.5937/oteh24040f>. (2024).
9. Krstović, M., Bajić, D., Stančić, T., Timotijević, M., & Fidanovski, B. Monitoring plasticizer's migration in the HMX/DOA mixture under elevated temperatures. 11th International Scientific Conference on Defensive Technologies - OTEX 2024 - Zbornik Radova. <https://doi.org/10.5937/oteh24039k>. (2024).
10. Rakić, M., Krstović, M., Dimić, M., & Fidanovski, B. Classical methods of Chemical stability: Comparison of analyses for gunpowders. Scientific Technical Review, 71(1), 25–29. <https://doi.org/10.5937/str2101025R>. (2021).
11. Rakić, M., Krstović, M., Mijatov, S., Dimić, M., & Fidanovski, B. Comparative analysis of volumetric and instrumental method for determination of nitroglycerin content in gunpowder. Scientific Technical Review, 71(2), 41–45. <https://doi.org/10.5937/str2102041r>. (2021).
12. Krstović, M., Bajić, D., Fidanovski, B., Mijatov, S., & Nešić, J. Uticaj nanoaluminijuma na toplotni potencijal energetskih materijala. VojNa2023. (2023).
13. Krstović, M., Mojsilović, J., Petković-Cvetković, J., Nešić, J., & Ilić, J. Research on Gas Producing Time Delay Pyrotechnic Compositions Based on Black Powder and Phenol-Formaldehyde Resin. Scientific Technical Review. (2023).
14. Krstović, M., Stančić, T., Fidanovski, B., & Bajić, D. Environmentally less harmful sample preparation techniques for HPLC analysis of organic components in gunpowders. 22nd Young Researchers Conference - YRC 2024. (2024).

15. Krstović, M., Stančić, T., & Bajić, D. Evaluating Thermal Effects of Thermobaric Composite Explosives in Controlled Conditions, 22nd Young Researchers Conference - YRC 2024. (2024).

Велики број радова кандидаткиње кпк Мирјане Крстовић је повезан за предметом истраживања у предложеној докторској дисертацији.

2.3. Закључак о подобности кандидата

Кандидаткиња кпк Мирјана Крстовић је положила све испите на ДАС ТИМЗ и успешно је реализовала све садржаје Самосталног истраживачког рада, где јој је преостало само још објављивање једног рада из области истраживања докторске дисертације у часопису са SCI листе. Кандидаткиња има изборно звање асистент на Војној академији, и учествује у НИП Војне академије.

Комисија сматра да је кандидаткиња подобна за израду докторске дисертације.

3. ПРЕДЛОГ МЕНТОРА СА ОБРАЗЛОЖЕЊЕМ

Кандидаткиња кпк је преложила да ментори буду вс доц. др Даница Бајић, запослена на ВТИ и пуковник ванр. проф. др Зоран Бајић, дипл. инж. из Војне академије.

Наведени наставници се налазе на списку ментора за ДАС ТИМЗ и изводили су наставу кандидаткињи из предмета Иницијални и бризантни експлозивни, Поступци прераде полимерних материјала (Д. Бајић) и Нанотехнологије и експлозивне материје (пк З. Бајић).

Војни службеник доц. др Даница Бајић, запослена на ВТИ, је наставница Универзитета одбране, ангажована на основним, мастер и докторским студијама СП ТИМЗ. Има објављена 25 радова у часописима са SCI листе и велики број радова ранга М30, М50 и М60. Има 216 цитата својих радова и Хиршов индекс 9 (извор Scopus).

Пуковник ванр. проф. др. Зоран Бајић, дипл. инж., запослен на ВА, је наставник Универзитета одбране, ангажован на основним, мастер и докторским студијама СП ТИМЗ. Има објављених 14 радова у часописима са SCI листе и велики број радова ранга М30, М50 и М60 из уже научне области Материјали и заштита и уже научне области Заштита животне средине. Има 641 цитат својих радова и Хиршов индекс 9 (извор Scopus). Био је ментор великог броја студената мастер студија и студената основних академских студија.

На основу свега претходно наведеног, Комисија сматра да су вс доц. др Даница Бајић, и пуковник ванр. проф. др Зоран Бајић, дипл. инж. подобни за менторе докторске дисертације кандидаткиње кпк Мирјане Крстовић.

4. УЖЕ НАУЧНЕ ОБЛАСТИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

- пк редовни професор др Радован Каркалић, Универзитет одбране у Београду, Војна академија, ужа научна област Материјали и заштита (изабран 05.06.2020. године) – председник комисије;
- редовни професор др Александар Д. Маринковић, Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет, ужа научна област Органска хемија (изабран 24.11.2022. године) – члан;
- пп доцент др Саша Брзић, дипл. инж., Војнотехнички институт, изабран на Универзитету одбране у Београду, ужа научна област Материјали и заштита (изабран 12.07.2022. године) – члан.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОЗИ КОМИСИЈЕ

На основу претходног Комисија закључује:

- кандидаткиња кпк Мирјана Крстовић испуњава услове за израду докторске дисертације;
- предложена тема и предложени начин решавања постављеног проблема у потпуности одговарају нивоу докторске дисертације;
- предложена тема припада пољу Техничко-технолошких наука, научној области Технолошко инжењерство и ужој научној области Материјали и заштита;

Комисија предлаже да се кандидаткињи кпк Мирјани Крстовић одобри израда докторске дисертације под називом:

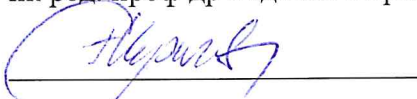
„Истраживање могућности примене калориметрије у квантификацији термалног ефекта и оптимизацији састава термобаричних експлозива“.

Комисија предлаже да се за менторе именују вс доц. др Даница Бајић и пуковник ванр. проф. др Зоран Бајић, дипл. инж.

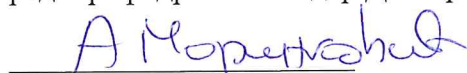
Београд, 14. фебруар 2025. године.

Чланови комисије

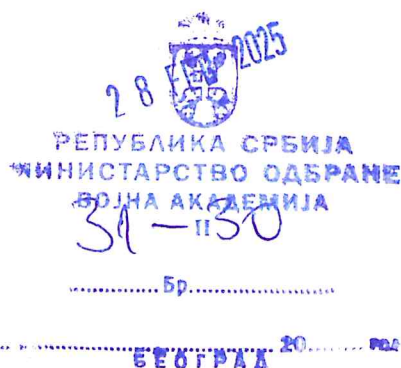
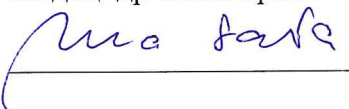
Председник комисије
пк ред. проф др Радован Каркалић



Члан комисије
ред. проф. др Александар Д. Маринковић



Члан комисије
пп доц. др Саша Брзић



Достављено:

- ННВ ВА (актом и е/р),
- Департман ТТ и ПМН (е/р, н/з),
- Катедра ВХИ (е/р),
- Архива.