

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ  
ФАКУЛТЕТА ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА УНИВЕРЗИТЕТА У КРАГУЈЕВЦУ**

**ВЕЋУ ЗА ТЕХНИЧКО-ТЕХНОЛОШКЕ НАУКЕ  
УНИВЕРЗИТЕТА У КРАГУЈЕВЦУ**

бр. 01-1/1882

17.06. 2024 год.

КРАГУЈЕВАЦ

**Предмет:** Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације Ивана Грујића, маг. инж. индустр. инж.

Одлуком Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу број IV-04-345/15 од 12.05.2021. године, на предлог Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу (одлука бр. 01-1/1158-10 од 22.04.2021. године), именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Ивана Грујића, маг. инж. индустр. инж. под насловом:

**ИДЕНТИФИКАЦИЈА ПРОЦЕСА САГОРЕВАЊА ГАСОВИТИХ ГОРИВА У ОТО МОТОРУ**

На основу увида у приложену докторску дисертацију и Извештаја комисије за оцену подобности кандидата и теме докторске дисертације, која је одобрена за израду Одлуком Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу број 01-1/5041-10 од 24.12.2019. године уз сагласност Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу Одлуком број IV-04-372/4 од 23.06.2020. године, а на основу Правилника о пријави, изради и одбрани докторске дисертације, односно докторског уметничког пројекта Универзитета у Крагујевцу, Комисија подноси следећи:

**ИЗВЕШТАЈ**

**1. ОПИС ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

Возила су део свакодневнице живота људи. Доминантан тип погонског агрегата који се користи код већине возила је мотор СУС. Ото мотори имају највећу перспективу примене, како самостално тако и у комбинацији са електричним погоном код хибридних погона, док се о даљој примени дизел мотора постоје опречна мишљења. Осим алтернативних погона, пажњу треба посветити алтернативним горивима. Алтернативна горива, која се користе код ото мотора су углавном гасовита горива. Постојећи системи за напајање ото мотора гасовитим горивима су углавном системи са течним нафтним гасом, а ређе са компримованим природним гасом. Са аспекта емисије, која се може сматрати и најбитнијим аспектом, као најперспективнија горива се издвајају компримовани природни гас и водоник.

При примени гасовитих горива у ото мотору у потпуности је задржана концепција радног процеса конвенционалних ото мотора. У случају примене гасовитих горива која су склона детонантном сагоревању, треба наћи другу концепцију радног процеса сагоревања гасовитих горива. Једна од могућности је примена раније познатог система сагоревања раслојене смеше, као код ото мотора са директним убризгавањем. Раслојавање смеше се може реализовати поделом коморе за сагоревање на преткомору и главни простор. Убризгавање горива и паљење се врше у преткомори у зони богате смеше, док се знатан део сагоревања и догоревање одигравају у главном простору, у условима сиромашне,

добро хомогенизоване смеше. Идентификација процеса сагоревања гасовитих горива у ото моторима са преткомором је основна тема докторске дисертације.

У оквиру докторске дисертације извршена је реализација и имплементација гасне инсталације за напајање мотора са унутрашњим сагоревањем гасовитим горивима, према узору на постојеће системе, али уз промене које омогућавају убризгавање са притисцима до 100 bar. Испитивања сагоревања гасовитих горива су извршена на модификованом ото мотору. Модификацију представља посебно конструисана и дограђена преткомора која омогућава раслојавање смеше на богату у преткомори и сиромашну у главном простору. Такође је модификован и систем за паљење.

На основу резултата лабораторијских испитивања утврђено је да при раду са компримованим природним гасом, превише сиромашна смеша у главном простору узрокује појаву задршке паљења смеше из главног простора, док са мање сиромашном смешом у главном простору сагоревање се из преткоморе наставља у главном простору, и постиже се највећа ефикасност. За регуларан рад мотора са водоником је неопходно двостепено убризгавање, где једно убризгавање треба да буде у околини спољне мртве тачке, како би обогатило смешу у преткомори и успорило сагоревање. Раније убризгавање веће количине горива, како при раду са компримованим природним гасом тако и са водоником, позитивно утиче на повећање ефикасности.

Испитивања процеса сагоревања гасовитих горива на експерименталном мотору вршена су према ESC тесту (European Stationary Cycle) како би се испитивања могла поновити под истим условима, а резултати испитивања били упоредиви са ранијим резултатима и резултатима из других лабораторија.

На основу анализе лабораторијских резултата утврђени су оптимални параметри убризгавања и паљења приликом рада са компримованим природним гасом и водоником те самим тим утврђена су и ограничења која треба уклонити у будућим истраживањима, са циљем унапређења добијених резултата.

Примена преткоморе је омогућила остваривање регуларног рада мотора са гасовитим горивима попут водоника.

## 2. ЗНАЧАЈ И ДОПРИНОС ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ СА СТАНОВИШТА АКТУЕЛНОГ СТАЊА У ОДРЕЂЕНОЈ НАУЧНОЈ ОБЛАСТИ

За реализацију ове докторске дисертације на постојећу инсталацију за испитивање мотора СУС у Лабораторији за моторе СУС пројектована је и дограђена специфична инсталација за напајање мотора СУС гасовитим горивима која омогућава идентификацију параметара сагоревања гасовитих горива. Извршена су истраживања са перспективним гасовитим горивима (компримовани природни гас и водоник), и добијени оригинални резултати, са оригиналним објашњењима и закључцима у вези сагоревања гасовитих горива у мотору са преткомором. Извршена је идентификација процеса сагоревања зависно од састава смеше у преткомори и главном простору. Успешно су утврђени оптимални регулациони параметри мотора. Извршена је идентификација и других параметара процеса сагоревања, односно узрочно последичних веза процеса сагоревања, индикаторских и емисионих показатеља.

## 3. ОЦЕНА ДА ЈЕ УРАЂЕНА ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА РЕЗУЛТАТ ОРИГИНАЛНОГ НАУЧНОГ РАДА КАНДИДАТА У ОДГОВАРАЈУЋОЈ НАУЧНОЈ ОБЛАСТИ

На основу детаљног прегледа докторске дисертације, анализе научних радова из области докторске дисертације и компетенција чланова Комисије у области из које је

предложена тема докторске дисертације, Комисија сматра да докторска дисертација кандидата Ивана Грујића, маг. инж. индустр. инж. представља резултат оригиналног научног рада. Кандидат је тему обрадио темељно и детаљно, користећи при томе теоријске основе и литературне изворе научних дисциплина релевантних за ову проблематику. Критички је анализирао бројне научне радове који се односе на проблематику разматрану у оквиру ове дисертације.

Тема докторске дисертације је актуелна, садржајно квалитетна и даје конкретне научне резултате, посебно ако се има у виду да је извршен велики број експерименталних испитивања уз пратећа тумачења добијених резултата.

Оригиналност научног рада и истраживања остварених у оквиру докторске дисертације огледају се у следећем:

- анализирана су истраживања других истраживача из предметне области;
- извршено је пројектовање и реализација специфичне опитне инсталације;
- извршено је експериментално истраживање процеса сагоревања гасовитих горива (КПГ и водоника) у ото мотору;
- утврђене су узрочно последичне везе између састава смеше и тока процеса сагоревања;
- утврђени су оптимални параметри убризгавања и паљења у зависности од различитих критеријума (ефикасности, перформанси и сирове емисије);
- идентификоване су карактеристике процеса сагоревања са аспекта ефикасности, перформанси и сирове емисије за разне начине формирања гориве смеше;
- добијени су оригинални резултати емисије мотора при раду са гасовитим горивима.

#### 4. ПРЕГЛЕД ОСТВАРЕНИХ РЕЗУЛТАТА РАДА КАНДИДАТА У ОДРЕЂЕНОЈ НАУЧНОЈ ОБЛАСТИ

##### 4.1 Биографија Кандидата

Иван Грујић, маг. инж. индустр. инж., рођен је 19. априла 1991. године у Петровцу на Млави. Основну школу „Јован Шербановић“ у Рановцу завршио је 2006. године. Даље школовање наставио је у Техничкој школи „Никола Тесла“ са домом ученика у Костолцу, на смеру за Моторна возила, и матурирао са одличним успехом 2010. године.

Основне академске студије на Машинском факултету у Крагујевцу (сада Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу), на студијском програму Машинско инжењерство, уписао је 2010., а завршио 2013. године на смеру за Моторна возила и моторе са просечном оценом 9,63 (девет и 63/100). Завршни рад под називом „Испитивање система за управљање путничких аутомобила“ под менторством проф. др Данијеле Милорадовић одбранио је са оценом 10. После завршетка основних студија, уписао је мастер студије на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу на студијском програму Аутомобилско инжењерство, које је завршио 2015. године као најбољи свршени студент са просечном оценом 9,73 (девет и 73/100). Мастер рад под називом „Експериментално одређивање параметара двостепене Vibe-функције код дизел мотора“ под менторством проф. др Александра Давинића одбранио је са оценом 10. Током основних студија био је стипендиста Министарства просвете, науке и технолошког развоја и Фонда за младе таленте Министарства омладине и спорта, а у току мастер студија био је стипендиста Министарства просвете, науке и технолошког развоја.

Докторске студије уписао је школске 2015/2016. године на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу. Положио је све предмете предвиђене планом и програмом са просечном оценом 10.

Кандидат је запослен на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу као асистент од 04.04.2016. године за групу предмета Погонски и мобилни системи, Мотори СУС 1 и Мотори СУС 2. Поред предмета за које је биран, изводи аудиторне и лабораторијске вежбе на следећим предметима: Одржавање МВМ, Опрема МВМ, Погонски материјали транспортних средстава, Испитивање моторних возила и мотора 2, Алтернативни погонски системи, Моделирање процеса у моторима СУС, Испитивање моторних возила и мотора, Системи преноса снаге МВ, Конструкција и прорачун мотора СУС. Од јануара 2018. године ангажован је на пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије ТР35041 „Истраживање безбедности возила као дела кибернетског система: возач – возило – окружење“.

Од 2016. до 2021. године објављивао је радове на Међународним конференцијама одржаним у земљи и иностранству, као и референтним међународним и домаћим часописима.

#### 4.2 Референце Кандидата

Иван Грујић је као аутор или коаутор објавио више од 80 радова у научним часописима и на међународним и домаћим научним конференцијама.

У наставку су наведени научни радови који представљају резултат рада на пријављеној докторској дисертацији од којих су прва два рада објављена у часописима који се налазе на SCI листи, а први рад је цитиран у докторској дисертацији, чиме је кандидат испунио услов за одбрану докторске дисертације:

- [1] I. Grujić, J. Dorić, I. O. Abdullah, N. Stojanović, A. Davinić, The influence of the hydrogen injection timing on the IC engine working cycle, Thermal Science, ISSN 2334-7163, ONLINE FRIST 2020. Doi 10.2298/TSCI190816346G. **[M23]**
- [2] I. Grujic, N. Stojanovic, R. Pesic, A. Davinic, S. Narayan, Numerical analysis of IC engine operation with high-pressure hydrogen injection, Transactions of FAMENA, Vol.44, No.1, pp. 55-66, ISSN 1333-1124, Doi <https://doi.org/10.21278/TOF.44105>, 2020 **[M23]**
- [3] I. Grujić, J. Dorić, N. Stojanović, O. I. Abdullah, Numerical analysis of hydrogen fueled IC engine, 19th Conference on Thermal Science and Engineering of Serbia, Sokobanja, 2019, October 22-25, pp. 450-456, ISBN 978-86-6055-124-7 **[M33]**
- [4] I. Grujic, N. Stojanovic, A. Davinic, R. Pesic, S. Vasiljevic, Numerical analysis of working cycle of hydrogen operated IC engine, Международная научно-техническая конференция «8-е Луканинские чтения. Проблемы и перспективы развития автотранспортного комплекса», Москва, 2019, 31 января, pp. 304-313 **[M33]**
- [5] I. Grujić, N. Stojanović, J. Dorić, A. Davnić, S. Vasiljević, Numerical analysis of the dual fuel IC engine working cycle, The 8th International Congress Motor Vehicles & Motors 2020, Kragujevac, 2020, 08-09 October, pp. 55-59, ISBN 978-86-6335-074-8 **[M33]**
- [6] I. Grujic, N. M. Ghazaly, N. Stojanovic, Numerical Analysis of the IC Engine Working Cycle with Gaseous Fuels (Compressed Natural Gas – CNG and Hydrogen), International Journal of Advanced Science and Technology, Vol.28, No.16, pp. 812-818, ISSN 2005-4238, 2019 **[M53]**

#### 5. ОЦЕНА О ИСПУЊЕНОСТИ ОБИМА И КВАЛИТЕТА У ОДНОСУ НА ПРИЈАВЉЕНУ ТЕМУ

Докторска дисертација кандидата Иван Грујић, маг. инж. индустр. инж. под насловом "Идентификација процеса сагоревања гасовитих горива у ото мотору", по обиму и садржају одговара прихваћеној теми од стране Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу и Већа за техничко-технолошке науке

Универзитета у Крагујевцу. По квалитету, обиму и резултатима истраживања у потпуности задовољава све научне, стручне и законске услове за израду докторских дисертација. Наслов докторске дисертације, урађена истраживања, као и циљеви и методологија истраживања су у складу са онима који су наведени у пријави теме.

Дисертација је написана на 116 странице, садржи 110 графичких приказа, 36 табела и 60 референци. Дисертација је изложена у 8 поглавља, којим претходи резиме рада на српском и енглеском језику и садржај рада. Наслови поглавља су:

1. Уводна разматрања
2. Конвенционални системи за напајање мотора СУС гасовитим горивим
3. Могућност примене водоника као горива за моторе СУС
4. Реализација мерне инсталације
5. Експериментално истраживање рада мотора са гасовитим горивима
6. Резултати истраживања и дискусија
7. Закључак
8. Литература

У поглављу 1 приказан је кратак историјски развој погонских агрегата, као и основне информације о процесу сагоревања конвенционалних горива у мотору СУС. Извршена је анализа примене мотора СУС са еколошког аспекта и даљег развоја погонских система. Такође, извршен је преглед досадашњих истраживања рада мотора са гасовитим горивима.

У поглављу 2 извршена је анализа постојећих система за напајање мотора гасовитим горивима.

У поглављу 3 извршена је анализа могућности примене водоника као горива, као и преглед његових карактеристика.

У поглављу 4 приказани су детаљи конструкције и израде преткоморе којом је модификован ото мотор, да би се омогућио регуларан рад мотора са гасовитим горивима склоним детонатном сагоревању. Такође, приказане су модификације постојеће мерне инсталације за испитивање рада и процеса сагоревања мотора СУС и поступак реализације гасне инсталације за напајање гасовитим горивима као и мерног система за мерење потрошње горива.

У поглављу 5 дат је преглед поступка мерења и рачунања индикаторских и емисионих показатеља рада мотора. Такође, приказан је план експерименталног истраживања за испитивање мотора у стационарним условима рада.

У поглављу 6 приказани су основни резултати добијени применом КПП и водоника као горива. За режиме који су успешно постигнути према плану истраживања, изведени су одговарајући закључци. Такође, дате су препоруке, за будућа истраживања. Извршено је поређење индикаторских и емисионих показатеља рада мотора.

У поглављу 7 изведени су закључци на основу добијених резултата, и приказан научни допринос аутора, постигнут овим истраживањем. Такође, наведени су правци даљег истраживања, у циљу усавршавања параметара процеса сагоревања мотора СУС.

У поглављу 8 дат је попис коришћених литература према реду појављивања у тексту докторске дисертације.

## 6. НАУЧНИ РЕЗУЛТАТИ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

Кандидат Иван Грујић, маг. инж. индустр. инж. је у оквиру докторске дисертације извршио систематску анализу постојећих знања и искустава из обухваћених научних области. На основу те анализе је у оквиру рада на докторској дисертацији извео низ

теоријских и експерименталних истраживања и дошао до резултата и закључака који представљају допринос, како у научно-теоријском, тако и у практичном смислу.

Научни резултати истраживања, урађених у оквиру докторске дисертације, могу се представити кроз теоријски и практични допринос.

Теоријски допринос је:

- преглед стања у научној области која се бави радом мотора са гасовитим горивима;
- анализа постојећих система за напајање мотора гасовитим горивима;
- анализа могућности примене водоника као горива за ото моторе.

Практични допринос је:

- развој лабораторијског прототипа преткоморног мотора и опитне инсталације за рад мотора са гасовитим горивима;
- развој методологије за експериментална истраживања процеса сагоревања гасовитих горива у ото мотору;
- развој методологије за одржавање регуларног рада мотора са горивима склониом детонатном сагоревању;
- развој аналитичког модела за одређивање коефицијента састава смеше у преткомори и у главном простору и на тај начин обезбеђивање сазнања о узрочно последичним односима између састава раслојене смеше и процеса сагоревања;
- истраживање утицаја начина убризгавања на индикаторске и емисионе показатеље рада мотора.

## 7. ПРИМЕЊИВОСТ РЕЗУЛТАТА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ У ТЕОРИЈИ И ПРАКСИ

Многобројни експериментални резултати добијени у току истраживања у оквиру докторске дисертације могу се користити за креирање нумеричких модела процеса сагоревања у мотору у циљу смањења трошкова и времена истраживања. Такође, други истраживачи могу користити експерименталне резултате за поређење са резултатима истраживања у другим лабораторијама.

Теоријски и експериментални резултати добијени у истраживањима могу се употребити у процесу развоја нових система за рад са горивима која ће допринети смањењу издувне емисије. Такође, ти резултати се могу применити за дефинисање адекватних регулационих параметара који ће омогућити регуларан рад мотора са горивима склониом брзом или детонатном сагоревању. Помоћу аналитичког модела за одређивање коефицијента састава смеше у преткомори и у главном простору, омогућено је разумевање узрочно последичних односа између састава раслојене смеше и процеса сагоревања.

## 8. НАЧИН ПРЕЗЕНТОВАЊА РЕЗУЛТАТА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ НАУЧНОЈ ЈАВНОСТИ

Публиковани научни радови, у циљу упознавања научне и стручне јавности са резултатима истраживања, могу бити коришћени у развоју нових система за напајање мотора гасовитим горивима са циљем смањења издувне емисије и одрживости мотора СУС.

Комисија сматра да истраживања и необјављени резултати ове докторске дисертације представљају обиман и користан материјал за даљу публикацију радова у међународним и националним часописима и скуповима у области мотора СУС, екологије и возила.

## ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ КОМИСИЈЕ

Докторска дисертација кандидата Ивана Грујића, маг. инж. индустр. инж., у потпуности, како по обиму, тако и по квалитету, одговара теми докторске дисертације одобреној Одлуком Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу број 01-1/5041-10 од 24.12.2019. године, уз сагласност Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу Одлуком број IV-04-372/4 од 23.06.2020. године.

Кандидат је у приказу истраживања користио одговарајућу и стандардизовану стручну терминологију, а структура докторске дисертације и методологија излагања су у складу са свим универзитетским нормама. Докторска дисертација по садржају, квалитету, обиму и приказаним резултатима истраживања у потпуности задовољава законске услове и универзитетске норме прописане за израду докторске дисертације.

Кандидат је показао да влада методологијом научноистраживачког рада и да поседује способност систематског приступа решавању проблема уз коришћење стручне литературе. При томе је, користећи своје професионално образовање, показао способност да приступи свеобухватно сложеној проблематици, у циљу дефинисања суштинских закључака и добијању конкретних и применљивих резултата.

С обзиром на актуелност проблематике која је обрађена и остварене резултате, чланови Комисије сматрају да кандидат и поднета докторска дисертација испуњавају све услове који се у поступку оцене писменог дела докторске дисертације захтевају Законом о високом образовању, Статутом Универзитета у Крагујевцу и Статутом Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу.

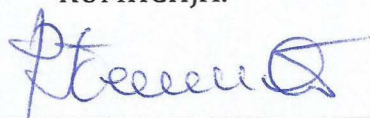
На основу свега претходно наведеног Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Ивана Грујића, маг. инж. индустр. инж., предлаже Наставно-научном већу Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу и Већу за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу да докторску дисертацију кандидата под називом:

ИДЕНТИФИКАЦИЈА ПРОЦЕСА САГОРЕВАЊА ГАСОВИТИХ ГОРИВА У ОТО МОТОРУ

прихвате као успешно урађену и да кандидата позову на усмену јавну одбрану докторске дисертације.

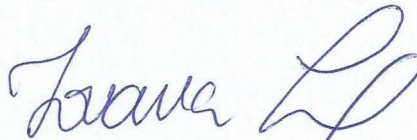
У Крагујевцу и Новом Саду,  
17.06.2021.

КОМИСИЈА:



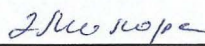
---

Др Радивоје Пешић, редовни професор, председник Комисије  
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу  
Уже научне области: Мотори СУС, Друмски саобраћај



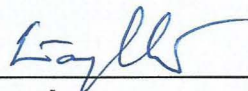
---

Др Јованка Лукић, редовни професор, члан Комисије  
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу  
Уже научне области: Моторна возила, Друмски саобраћај



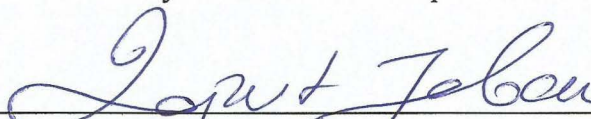
---

Др Данијела Милорадовић, ванредни професор, члан Комисије  
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу  
Ужа научна област: Моторна возила



---

Др Драган Тарановић, ванредни професор, члан Комисије  
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу  
Ужа научна област: Моторна возила и мотори



---

Др Јован Дорић, ванредни професор, члан Комисије  
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду  
Ужа научна област: Моторна возила и мотори СУС