

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Вука Ацића.

Одлуком бр.1782/2 од 10.10.2019. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Вука Ацића, под насловом:

„Карактеризација кинетичког вртложног пламена биогаза методом СН* визуелизације“

Прегледом достављене дисертације и других пратећих материјала, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Вук Ацић дипл. инж. маш. је уписао докторске студије на Машинском факултету у Београду на Катедри за процесну технику 2015. године. Током докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду кандидат је положио све испите предвиђене планом и програмом докторских студија са средњом оценом 9,43.

Кандидат је пријавио тему докторске дисертације на Катедри за процесну технику Машинског факултета Универзитета у Београду. За ментора предложио је др Мирјану Стаменић, ванр. проф. Машинског факултета Универзитета у Београду. На основу сагласности Катедре за процесну технику и одлуке Већа докторских студија Машинског факултета бр. 2869/3 од 27.12.2018.године о прихватању предложене теме дисертације, формирана је комисија за оцену научне заснованости теме докторске дисертације у саставу: ванр. проф. др Мирјана Стаменић, проф. др Србислав Генић, ванр. проф. др Александар Миливојевић, доцент др Горан Воротовић и ванр. проф. др Марија Живковић, Рударско геолошки факултет Универзитета у Београду.

Комисија за оцену испуњености услова кандидата и научне заснованости теме докторске дисертације је 27.12.2018. године бр. 2896/308 поднела Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду извештај бр. .223/1 од 04.02.2019.године о испуњености услова за одобрење тезе којим је одобрила тему докторске дисертације под радним називом: „Карактеризација кинетичког вртложног пламена биогаза методом СН* визуелизације“,

уз констатацију да кандидат испуњава законске и друге услове за рад на докторској дисертацији, као и да предложена тема може да буде предмет докторске дисертације.

На основу Захтева за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације, бр. 223/2 од 7.02.2019. године, који је упутио Машински факултет у Београду, Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду, донело је Одлуку 02 бр. 61206-801/2-19 ЛД од 25.02.2019. године којом даје сагласност на предложену тему докторске дисертације.

О завршетку докторске дисертације кандидата Вука Ацића дипл. инж. маш., под називом: **„Карактеризација кинетичког вртложног пламена биогаза методом СН* визуелизације“** и предлогу Комисије за оцену и одбрану дисертације, ментор, ванр. проф. др Мирјана Стаменић обавестила је Катедру за процесну технику. Катедра је својим дописом обавестила Наставно-научно веће и Веће докторских студија Машинског факултета у Београду.

Наставно-научно веће је донело Одлуку бр.1782/2 од 10.10.2019. формирању Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације у следећем саставу: др Мирјана Стаменић, ванр. проф. Машинског факултета Универзитета у Београду, др Србислав Генић, редовни професор Машинског факултета Универзитета у Београду, др Александар Миливојевић, ванредни професор Машинског факултета Универзитета у Београду, др Горан Воротовић, доцент Машинског факултета Универзитета у Београду и др Марија Живковић, ванредни професор Рударско геолошког факултета Универзитета у Београду.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација кандидата Вука Ацића дипл. инж. маш. под насловом: **„Карактеризација кинетичког вртложног пламена биогаза методом СН* визуелизације“** припада области Техничких наука, Машинско инжењерство, ужа научна област Процесна техника.

Уже научне и стручне области ментора, др Мирјане Стаменић, ванр. проф. Машинског факултета Универзитета у Београду, су процесна техника, енергетска ефикасност, моделирање и експериментална истраживања у сагоревању, моделирање и испитивање индустријских пећи и котлова, моделирање и испитивање високотемпературских процеса, односно, научне области којој припада ова дисертација.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Вук Ацић је рођен 14.01.1976. године у Београду где је завршио основну и средњу школу „Петар Драпшин“. Уписује Машински факултет Универзитета у Београду 1994 године. Током студија на Машинском факултету, у периоду од 1999. до 2001. године, похађа и четврту годину Електротехничког факултета Универзитета у Београду, смер Телекомуникације, област Акустика и Електроакустика. У периоду 1998. – 2001. ради као технички саветник за "Sound Power Eminence Loudspeaker“. Од 2001. до 2006, ради у Нуклеарном институту Винча, у Центру за перманентно образовање, на месту предавача из области: MS Windows OS, MS Excel, MS Word, MS Power Point, Internet и Internet Tools. Од 2006. године запослен је на Машинском факултету као сарадник на катедри за Процесну технику где дипломира 2015. године на смеру Процесна техника. Као сарадник на Машинском факултету у Београду, учествује у бројним научно-истраживачким пројектима и пројектима за привреду. Држи експерименталне вежбе на појединим предметима у области процесне технике и сагоревања. Такође учествује и пружа помоћ у експерименталним истраживањима на више докторских дисертација на Машинском

факултету у Београду. Коаутор је и аутор преко 20 радова објављених у часописима и на међународним и националним скуповима. Докторске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду уписује 2015. и успешно завршава 2018. године. Говори и пише енглески језик. Ожењен је и отац је двоје деце.

У периоду од од 2006. до 2019. године, као сарадник на Машинском факултету у Београду, учествује у научно истраживачким пројектима и пројектима за привреду где стиче значајна искуства у научно-истраживачком раду која обухватају спектар области: перформансе и емисија термоелектрана, топлана, енергана и котлова, енергетска ефикасност индустријских постројања, обновљиви енергетски извори, процеси сагоревања гасовитих, течних, чврстих горива, биомасе и водоника, истраживања и развој нових уређаја за сагоревање, атмосферских горионика и горионика за микрогасне турбине. Учествује у истраживањима у области напредне инфрацрвене термографије, примене инфрацрвене термографије, дигиталне фотографије, примене хемилуминесценције, визуелизације пламена, затим, у области горивних ћелија, батерија, мерних техника у индустрији. Бави се развојем беспилотних летелица за извиђање и снимање у видљивом и инфрацрвеном спектру, пропулзијом беспилотних летелица, бежичном комуникацијом, заштитом од буке у затвореном простору, акустичким мерењима у отвореном и затвореном простору. Консултант је фирме DAMIVA Београд за област оптичка извиђања и снимања у инфрацрвеном спектру. Учесник је у ИИИ пројекту које финансира Министарство образовања, науке и технолошког развоја Србије. Учествовао је на четири европска пројекта из области Оквирних програма (FP). Стручну каријеру му је обележила и вишегодишња сарадња са Норвешком у области развоја система учења и комуникације на даљину када је значајно допринео развоју комуникационог центра на Машинском факултету у Београду.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација Вука Ацића дипл. инж. маш., под насловом: „**Карактеризација кинетичког вртложног пламена биогаза методом СН* визуелизације**“ је подељена у десет поглавља: 1. Увод, 2. Биогаз, 3. Неке специфичности сагоревања биогаза, 4. Визуелизација пламена, 5. Хемилуминесценција пламена, 6. Експеримент, 7. Обрада слике пламена, 8. Мерења и приказ резултата, 9. Анализа резултата, 10. Закључци и Литература, обима 117 страна са 82 дијаграма и слика, 12 табела и 75 литературних навода.

Такође, дат је резиме дисертације на српском и енглеском језику, приложена је биографија кандидата, списак објављених радова, као и остали подаци како је прописано документима Универзитета о подношењу докторских дисертација на одобравање.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У **уводном делу** дисертације наводи се Директива Европске комисије из 2018. године која обавезује земље ЕУ да до 2030. године смање емисију гасова стаклене баште за најмање 40 % у односу на 1990. годину и произведу најмање 32% енергије из обновљивих извора. Такође, наводи се и Стратегија развоја енергетике Републике Србије до 2025. године, којом се предвиђа значајно учешће обновљивих енергетских извора, где биомаса, односно биогаз, заузимају

важно место. Велики садржај CO_2 у биогасу доводи до озбиљног проблема стабилност пламена и рада уређаја за сагоревање. Једна од савремених метода решавања овог проблема је примена вртложних горионика са кинетичким, турбулентним пламеном. Сложена природа ове методе сагоревања биогаса још увек није у потпуности разјашњена. Развој дигиталних камера и одговарајућих сензора омогућује ефикасну визуелизацију и истраживање пламена, а CH^* хемилуминесценција је погодна појава за истраживање и боље разумевања вртложног турбулентног пламена биогаса, што је предмет ове дисертације. У вези са стањем истраживања пламена методом хемилуминесценције, аутор констатује да постоје бројни публиковани радови из области хемилуминесценције пламена, али да је број публикованих радова из тематске области ове дисертације мали. Конкретно, значајан је број истраживања кинетичког, предмешаног, турбулентног, вртложног пламена биогаса у комори за сагоревање коришћењем спектроскопа или специјализованих истраживачких ICCD и CCD камере за визуелизацију хемилуминесценције CH^* , али свега неколико истраживања која су користила комерцијалну CCD дигиталну камеру. У доступној литератури, нема истраживања на бази визуелизације хемилуминесценције CH^* кинетичког, турбулентног, вртложног пламена биогаса са сагоревањем у слободном простору, помоћу комерцијалне CCD дигиталне камере а што су предмет и метод истраживања ове докторске дисертације.

У **поглављу** које се односи на **биогас** дати су поступци добијања биогаса које је могуће систематизовати у више генерација зависно од сировинског састава и технолошког поступка. Имајући у виду прокламоване националне циљеве решавања питања отпадних вода, анализирано је добијање биогаса из отпадних вода, посебно комуналних отпадних вода и вода из сточарских објеката. Састав биогаса може да варира локално и временски што утиче како на процес сагоревања тако и на перформансе горионика и уређаја за сагоревање.

У поглављу **Неке специфичности сагоревања биогаса** аутор указује на проблеме сагоревања биогаса који се јављају због великог садржаја негориве компоненте, угљен диоксида (CO_2) кога има од 30 до 45% у биогасу. Присуство CO_2 мења хемизам сагоревања, смањује брзину простирања пламена, адијабатску температуру и стабилност пламена, топлотну снагу горионика и састав емисије продуката сагоревања.

У **четвртном поглављу** аутор укратко наводи дијагностичке метода визуелизација у различитим научно-истраживачким областима, посебно за истраживање пламена. Аутор указује да су развој CCD сензора, дигиталних камера и техника обраде фотографија у значајно допринела развоју и коришћењу оптичких метода за мерења и истраживања у различитим истраживачким областима, укључујући и област сагоревања.

У **петом поглављу** аутор приказује појаву о хемилуминесценција пламена, са посебним акцентом на употреби дигиталних камера за аквизицију хемилуминесценције CH^* радикала. Хемилуминесценција пламена пружа могућност за добијања информација о геометрији пламена, локалном коефицијенту вишка ваздуха, кинетици процеса и ослобођеној топлоти при сагоревању биогаса и других горива. Познавање ових величина омогућује оптимизацију рада уређаја за сагоревање.

У **шестом** поглављу, које се односи на експериментално истраживање и обраду слике, приказани су наменски развијен вртложни горионик, мерна инсталација и систем за визуелизацију пламена и аквизицију слике. Инсталација омогућује систематско мењање независно променљивих величина како би се истражио њихов утицај на пламен: врста горива (биогас, метан и пропан), садржај угљен диоксида у гориву, коефицијент вишка ваздуха и угао лопатица усмерног кола вртложног горионика.

У поглављу **седам** које се односи на обраду слике пламена приказана је примењена метода обраде слике хемилуминесценције CH^* пламена. Пошто је у питању осно симетричан пламен, а формирана слика дводимензионална, објашњена је и примењена Абелова трансформација за одређивање локалне расподеле емисије хемилуминесценције CH^* .

Поглавље осам се односи на обављена мерења и приказ резултата. У оквиру овог поглавља детаљно су приказани резултати добијени мерењима при систематски променама независно променљивих параметара: врсте горива (биогаз, метан, пропан), садржаја угљен диоксида у гориву, коефицијента вишка ваздуха и угла лопатица усмерног кола вртложног горионика. Такође у овом поглављу је извршена и одговарајућа обрада слика пламена.

У **деветом поглављу** које се односи на анализу добијених резултата и закључке, аутор користи фотографије интензитета емисије CH^* за квалитативни и квантитативни приказ пламена, локацију зоне фронта и геометрију пламена. При одређивању положаја зоне фронта пламена усвојена је претпоставка да је то зона локалних максималних вредности температуре пламена, односно зона максималних вредности интензитета хемилуминесценције CH^* . Извршена је детаљна анализа утицаја сваке од независно променљивих величина и изведене су одговарајуће корелације.

У **десетом поглављу** систематизовани су и дати закључци о ефектима независно променљивих параметара на кинетички, вртложни, турбулентни, слободни пламен биогаза, метана и пропана. Закључено је да је коришћењем визуелизације интензитета емисије CH^* и обрадом добијених слика, могуће утврдити промену квалитета горива, промену удела угљен диоксида у гориву, као и положај фронта и геометрију пламена, чиме су у потпуности остварени постављени циљеви и потврђени планирани научни и стручни доприноси дисертације.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација Вука Ацића дипл. инж. маш., под насловом „**Карактеризација кинетичког вртложног пламена биогаза методом CH^* визуелизације**“, третира савремену и значајну област обновљивих извора енергије. Србија се обавезала да повећа удео извора у укупној енергетској потрошњи на 27% из обновљивих извора до 2020. године. Документом из 2018. године, Европска унија је поставила нови циљ да до 2030. године обновљиви извори енергије учествују са најмање 32 % у укупној енергетској потрошњи, а тај циљ треба да постигне и Србија, што захтева посебан напор ка коришћењу обновљивих извора енергије у чему се очекује да биогаз да свој значајни допринос.

Биогаз не може да се директно користи у постојећим уређајима за сагоревање, због високог садржаја CO_2 што доводи до појаве нестабилности, могућег гашења пламена и промене емисије загађујућих продуката сагоревања, уколико се не предузму одговарајући кораци прилагођавања постојећих уређаја за сагоревање биогаза. Оптимално решење је у развоју нових типова вишегоривних уређаја за сагоревање за шта је потребно добро разумевање процеса сагоревања биогаза и функционисање горионика. Истраживање пламена методом визуелизације и обрадом слике хемилуминесценције CH^* радикала помоћу комерцијалне камере са CCD сензором и одговарајућим софтвером за обраду слике потврђује нов приступ савремености и оригиналност дисертације.

Оригиналност дисертације је посебно назначена тиме што у доступној литератури нема саопштених резултата истраживања кинетичког, вртложног, турбулентног, слободног пламена биогаса коришћењем комерцијалне CCD камере за визуелизацију хемилуминесценције CH^* радикала, што су добијени оригинални експериментални резултати и приказане оригиналне анализе и изведене корелације ефеката више независних променљивих на формирање пламена, а што све доприноси бољем разумевању процеса сагоревања биогаса и омогућује конкретну примену резултата дисертације у конструисању, развоју и примени уређаја за сагоревање биогаса.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У прилогу дисертације дат је списак који обухвата 75 литературних навода. Највећим делом су у питању научно истраживачки радови публиковани углавном у задњих десет година у водећим светским часописима, књиге, монографије и документа (закони, директиве, правилници и слично), што је омогућило кандидату да прикаже актуелно стање научне области из предмета дисертације. Кандидат констатује да постоје бројни публиковани радови из области хемилуминесценције пламена, али је број публикованих радова из тематске области дисертације значајно мањи. Када је реч о истраживањима кинетичког, вртложног, турбулентног, слободног пламена биогаса методом визуелизације хемилуминесценције CH^* , што је предмет дисертације, број публикованих радова је веома мали. На основу приложене литературе, њене анализе и објављених радова, може да се закључи да кандидат адекватно познаје проблематику коју третира у својој дисертацији.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Комисија констатује да су при изради дисертације примењене одговарајуће научне методе. Након анализе тренутног стања технологије и науке у области сагоревања биогаса, кандидат је дефинисао конкретан приступ за експериментална истраживања, карактеризацију и боље разумевање ефеката одређених независно променљивих параметара на пламен биогаса. Кандидат је у експерименталним истраживањима користио технику визуелизације пламена и мерио релативни интензитет хемилуминесценције CH^* варирајући врсту горива, садржај угљен-диоксида у гориву, коефицијент вишка ваздуха и угао лопатица усмерног кола горионика. На основу добијених експерименталних резултата и одговарајуће анализе слике пламена, при чему су коришћени наменски софтвери за обраду слике, кандидат је извео корелације између релативног интензитета хемилуминесценције CH^* , геометрије пламена и положаја фронта пламена у функцији врсте горива, садржаја угљен-диоксида, коефицијента вишка ваздуха и угла лопатица усмерног кола вртложног горионика. На тај начин су постављене везе које омогућују да се на основу слике пламена и интензитета хемилуминесценције CH^* оптичким методама, у практично реалном времену, идентификују промене квалитета горива и садржаја угљен диоксида у гориву, као и промене коефицијента вишка ваздуха, у условима кинетичког, вртложног, слободног пламена гасовитих горива.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати дисертације примењиви су у како у научном смислу за даља истраживања, тако и у практичним системима сагоревања. Развијена је методологија неинвазивног праћења и анализе пламена и успостављене корелације између интензитета хемилуминесценције CH^* , елемената

слике пламена и кључних параметара функционисања уређаја за сагоревање, што омогућује да резултати и закључци дисертације могу да буду директно примењени у пракси сагоревања биогаза и гасовитих горива уопште. Ово је посебно значајно имајући у виду да је биогаз обновљив енергетски извор, као и обавезу наше земље да до 2030. године обновљиви извори енергије учествују са најмање 32 % у нашој укупној енергетској потрошњи. Такође, резултати ове дисертације могу да буду од велике користи конструкторима и оперативном особљу који се баве горионицима, пећима, ложиштима и другим системима за сагоревање.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

На основу праћења досадашњег рада, постигнутих резултата и рада на дисертацији, констатујемо да се кандидат већ дуже време, од 2006. године, бави истраживачким радом у области коју третира ова дисертација, а посебно на проблематици коришћења хемилуминесценције CH^* за истраживање пламена и уређаја за сагоревање. У периоду од 2010. до 2019. године кандидат је публиковао више радова као аутор или коаутор из проблематике ове дисертације.

Кандидат је показао знања за самостално систематично размишљање, праћење научне и стручне литературе, одабир информација и података и њихово коришћење. Комисија сматра да кандидат има све потребне квалитете за истраживачки и научни рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Главни научни доприноси кандидата су следећи:

1. Карактеризација и анализа пламена на бази визуелизације хемилуминесценције CH^* пламена и успостављања корелација између интензитета хемилуминесценције CH^* и елемената слике кинетичког, вртложног, слободног пламена и независно променљивих величина: врсте горива (биогаза, метана и пропана), садржаја CO_2 у гориву, коефицијента вишка ваздуха и угла лопатица усмерног кола горионика коришћењем комерцијалне камере са CCD сензором и софтвера за обраду слике. Овај научни допринос је потврђен у раду [1], категорије М14, и у раду [2], категорије М22 (тачка 4.3. Верификација научних доприноса овог извештаја).
2. Развој методе за праћење промене састава гасовитог горива и коефицијента вишка ваздуха на бази анализе слике и интензитета хемилуминесценције CH^* пламена. Овај научни допринос је потврђен у раду [2], категорије М22, и раду [3], категорије М33 (тачка 4.3. Верификација научних доприноса овог извештаја).

Комисија констатује да су резултати дисертације верификовани у истакнутом међународном часопису, категорије М22, у коме је кандидат Вук Ацић први аутор, чиме је задовољен тражени услов за завршетак и одбрану докторске дисертације.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

На основу увида у литературу и познавања истраживачке области коју обрађује ова дисертација, Комисија констатује да је кандидат на оригиналан и савремен начин решавао проблематику дисертације, примењивао адекватне научне методе и дошао до резултата који представљају врло вредне научне доприносе у области сагоревања биогаса, и других гасовитих горива, примене савремених истраживачких техника, примене савремених уређаја за сагоревање гасовитих горива и коришћења обновљивих енергетских извора. Посебно треба нагласити да су резултати до којих је кандидат дошао, и изведене корелације, примењиви како за даља научна истраживања области коју третира дисертација тако и у практичним уређајима за сагоревања биогаса и гасовитих горива уопште.

Констатујемо да је кандидат успешно и у потпуности одговорио на захтеве дисертације у свим постављеним елементима и показао способност за самосталан научно истраживачки рад.

4.3. Верификација научних доприноса

Доприноси ове докторске дисертације су верификовани публикавањем следећих радова:

Рад у тематском зборнику међународног значаја, М14:

- [1] **Adžić, V.**, Mahjoub, M., Milivojević, A., Adžić, M., Research of Lean Premixed Flame by Chemiluminiscence Tomography, Proceedings of the International Conference of Experimental and Numerical Innvestigations and New Technologies, CNNTech, Springer International Publishers, pp. 125-136, (2018), <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-99620-2>

Рад у истакнутом међународном часопису, М22:

- [2] **Adzic, V.**, Milivojevic, A., Stamenic, M., Adzic, M., Investigation of Carbon Dioxide Diluted Methane and Propane Swirling Premixed Flames Using CH* Chemiluminescence Imaging, Thermal Science, DOI: 10.2298/TSCI180312375A, (2019).

Саопштење са међународног скупа штампано у целини, М33:

- [3] Adžić, M., Milivojević, A., **Adžić, V.**, Flame Visualization for Multi-fuel Emission Control, Proceedings of the International Scientific Conference IMPEDE 2019, pp. 456-473, Belgrade, ISBN 978-86-901238-0-3 (2019).

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу прегледа докторске дисертације и горе изнетог, имајући у виду квалитет и научни допринос дисертације, Комисија за преглед, оцену и одбрану ове докторске дисертације закључује да је кандидат Вук Ацић, дипл. маш. инж., успешно завршио докторску дисертацију под називом: „**Карактеризација кинетичког вртложног пламена биогаза методом СН* визуелизације**“. Комисија закључује да дисертација представља значајан и оригиналан научни рад са научним доприносом у области Техничких наука, Машинско инжењерство, ужа научна област Процесна техника.

Комисија закључује да је докторска дисертација урађена сходно стандардима научно истраживачког рада, да испуњава све услове и да је у складу је са Законом о високом образовању, Статутом и Правилником о докторским студијама Машинског факултета Универзитета у Београду.

Комисија предлаже Наставно научном већу Машинског факултета у Београду да овај реферат прихвати, да дисертацију стави на увид јавности, да реферат упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду и да се након завршених процедура, кандидат, Вук Ацић дипл. маш. инж. позове на усмену одбрану дисертације пред Комисијом у истом овом саставу.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
др Мирјана Стаменић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

.....
др Србислав Генић, редовни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

.....
др Александар Миливојевић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

.....
др Горан Воротовић, доцент
Универзитет у Београду, Машински факултет

.....
др Марија Живковић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Рударско геолошки факултет