

**ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА**

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Мустафе Макхзоума Али Махјоуба (Mustafa Makhzoum Ali Mahjoub), маг. инж. маш.

Одлуком 598/2 од 15.03.2018. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације Мустафе Макхзоума Али Махјоуба (Mustafa Makhzoum Ali Mahjoub), маг. инж. маш.

под насловом

**„Утицај увођења водоника у природни гас на процес сагоревања“  
(The effect of blending hydrogen into natural gas on combustion).**

Прегледом достављене дисертације и других пратећих материјала, Комисија је подноси следећи

**РЕФЕРАТ**

**1. УВОД**

**1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације**

Кандидат мр инж Мустафа Макхзоум Али Махјоуб, (Mustafa Makhzoum Ali Mahjoub), маг. инж. маш. број индекса Д 43/2013, је уписао докторске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду школске 2013/2014. године. Након положених испита и испуњења осталих услова, кандидат је поднео захтев бр. 2234/1 од 28.10.2015. за одобрење израде докторске дисертације под насловом „Утицај увођења водоника у природни гас на процес сагоревања“ (The effect of blending hydrogen into natural gas on combustion), и реферата Комисије, Наставно научно веће Машинског факултета донело одлуку којом се прихвата научна заснованост теме дисертације и констатује да студент Мустафа Макхзоум Али Махјоуб маг. инж. маш. испуњава услове за израду докторске дисертације под насловом „Утицај увођења водоника у природни гас на процес сагоревања“ (The effect of blending hydrogen into natural gas on combustion), а за ментора се именује др Мирољуба Аџића, проф. емеритус.

На основу обавештења др Мирољуба Аџића, проф. емеритуса, ментора, сагласности Комисије за докторске студије и Координатора за наставу на страном језику, да је студент

Мустафе Макхзоума Али Махјоуба (Mustafa Makhzoum Ali Mahjoub), маг. инж. маш. Завршио докторску дисертацију под насловом „Утицај увођења водоника у природни гас на процес сагоревања“ (The effect of blending hydrogen into natural gas on combustion), Наставно научно веће Машинског факултета донело је одлуку 598/2 од 15.03.2018. године, о именовању чланова Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације „Утицај увођења водоника у природни гас на процес сагоревања“ (The effect of blending hydrogen into natural gas on combustion), у саставу др Мирољуб Аџић, проф. емеритус Машинског факултета Универзитета у Београду, др Драгослава Стојиљковић, ред. проф. Машинског факултета Универзитета у Београду, др Васко Фотев, ред. проф. Машинског факултета Универзитета у Београду, др Марија Живковић ванредни професор Рударско Геолошког факултета Универзитета у Београду и др Александар Миливојевић, доцент Машинског факултета Универзитета у Београду.

## **1.2. Научна област дисертације**

Докторска дисертација кандидата Мустафе Макхзоума Али Махјоуба (Mustafa Makhzoum Ali Mahjoub), маг. инж. маш. под насловом „Утицај увођења водоника у природни гас на процес сагоревања“ (The effect of blending hydrogen into natural gas on combustion) припада области Техничких наука – Машинско инжењерство, ужа научна област Сагоревање, за коју је матичан Машински факултет Универзитета у Београду.

Израдом докторске дисертације руководио је др Мирољуб Аџић, професор емеритус Машинског факултета Универзитета у Београду чије су уже научне и стручне области: сагоревање, горива, пропулзија, гасне турбине, водоник, горивне ћелије, заштита животне средине, односно, научне области којој припада ова дисертација.

## **1.3. Биографски подаци о кандидату**

Мустафа Макхзоум Али Махјоуб је рођен 28.08.1976 у Мисурати, Либија. Основно и средње образовање је стекао у Либији. 1992. године се уписује се на Универзитет у Триполију и студира машинство где 1999. стиче BSc диплому. Потом прелази 2004. године на Универзитет у Мисурати где 2009. године стиче MSc диплому машинског инжењера. Докторске студије на Машинском факултету у Београду уписује 2014. године и које успешно завршава са просечном оценом 9,89.

## **1.2. Радно и научноистраживачко искуство**

У периоду 2003 – 2009 Мустафа Макхзоум Али Махјоуб ради у Iron & Steel company Misurata у Либији као инжењер за одржавање постројења. 2009. године прелази на Универзитет у Мисурати где ради као доцент. У периоду од 2012-2013. године је шеф Одељења за високо образовање на Универзитету у Мисурати. За време рада на Универзитету у Мисурати Mustafa Makhzoum Ali Mahjoub објављује рад:

Докторске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду уписује школске 2013/2014. године где полаже све испите предвиђене Планом усавршавања.

Током рада у Либији објављује следећи научно-истраживачки рад.

Mustafa Makhzoum Ali Mahjoub, Thermal Analysis of Combined cycle Power Plant with Desalination Unit, Scientific Net, *Materials Science And Engineering*, 2012.

а током докторских студија објављује рад:

Mustafa Makhzoum Ali MAHJOUB, Aleksandar M. MILIVOJEVIĆ, Vuk M. ADŽIĆ, Marija A. ŽIVKOVIĆ, Vasko G. FOTEV and Miroljub M. ADŽIĆ, NUMERICAL ANALYSIS OF LEAN PREMIXED COMBUSTOR FUELED BY PROPANE-HYDROGEN MIXTURE, THERMAL SCIENCE: Year 2017, Vol. 21, No. 6A, pp. 2593-2602.

Овај рад је објављен у међународном часопису (категорија M23).

## 1. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

### 2.1. Структура и садржај дисертације

Докторска дисертација Мустафе Макхзоума Али Махјоуба (Mustafa Makhzoum Ali Mahjoub), маг. инж. маш. под насловом „Утицај увођења водоника у природни гас на процес сагоревања“ (**The effect of blending hydrogen into natural gas on combustion**) има 123 стране формата А4, 76 дијаграма и слика, 4 табеле, и списак литературе на 6 страна.

Дисертација је подељена у 6 поглавља, обима 116 страна са 110 дијаграма и слика:

1. Увод и анализа проблема.
2. Преглед литературе.
3. Истраживање процеса сагоревања применом нумеричких метода.
4. Моделирање горионика и процеса сагоревања.
5. Резултати, анализа и закључци.  
Додатак 1.  
Литература.

### 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У **првом поглављу** аутор разматра значај енергетике, ослобађањем енергије процесима сагоревања фосилних горива и заштиту животне средине с обзиром на климатске промене и емисију загађујућих продуката сагоревања. Аутор затим посвећује пажњу проблематици емисије угљен дикоксида као гаса стаклене баште у светлу псецифичности сагоревања различитих горива у гасним турбинама,

укључујући гасовита горива из обновљивих извора и посебно водоник као интересантна алтернатива класичним угљоводничним горивима а који се све масовније примењује пре свега у области моторних возила. Посебно важна погодност примене водоника је преузимања вишкова производње струје из соларних система и ветропаркова. Тако произведен водоник је могуће увести у стандардну гасну мрежу за природни гас. Никакве посебне техничке мере укључујући безбедносне, нису потребне на постојећим системима природног гаса све до садржаја водоника од 10 % запреминских у природни гас. Аутор затим укратко подсећа на елементе моделирања процеса сагоревања и на крају наводи циљеве своје дисертације.

У **другом поглављу** Аутор анализира близу четрдесет радова, експерименталних и нумеричких, који се односе на сагоревање смеша угљоводничних гасовитих горива и водоника, као и чистог водоника. Истраживања су обухватала како реална гаснотурбинских постројења, тако и горионике лабораторијског типа, дифузно и кинетичко сагоревање. Предмети истраживања су били стабилност пламена, увлачење и одувавање пламена, карактеристике пламена, струјно поље, расподела концентрација реактаната и продуката сагоревања, расподела температуре, емисија NOx, а независне променљиве су обухватале врсту базног горива у смеси са водоником, геометрију горионика, коефицијент вишка ваздуха и вихорни број. Резултати истраживача су углавном сагласни, присуство водоника проширује границе стабилног рада, уз повећану опасност увалчења пламена. Присуство водоника повећава емисију NOx. Мало је радова који третирају случај предмешаног сагоревања у вихорном горионику микротурбине. Аутор није у расположивој литератури нашао радове који третирају проблематику сагоревања у комори са централним телом. Што се тиче нумеричког приступа, аутор констатује да већина истраживача налази да стандардни *realizable k-ε model* уз узимање у обзир предају топлоте зрачењем даје добре резултате.

У **трећем поглављу** аутор разматра могућности комерцијалног софтвера ANSYS Fluent за нумеричко моделирање процеса сагоревања предмешаних система сагоревања у вихорној струји, као и могућности генерисања одговарајуће нумеричке мреже за дефинисање геометрије горионика и коморе за сагоревање. Аутор даје приказ физичко-хемијског модела, конзервативних једначина, модела хемијске кинетике, турбуленције, једначина преноса и осталих елемената у вези са процесом сагоревања гасовитих горива у комори сагоревања микро гасне турбине.

У **поглављу четири** описани су конкретан објект истраживања, горионик, комора за мешање горива и ваздуха, централно тело променљиве дужине, комора за сагоревање, гранични услови и елементи нумеричког приступа. Дати су сви потребни детаљи физичког система, радних услова, варијабли (номиналног топлотног оптерећења, горива, коефицијента вишка ваздуха, вихорног броја, дужине централног тела) Посебно је обрађена проблематика нумеричке мреже као и оптимирања броја елемената мреже. Постављене су мреже посебно за комору за мешање, горионик и комору за сагоревање. У циљу осигурања поузданих и квалитених резултата истраживања, аутор је обавио прелиминарна истраживања у вези са утицајем квалитета мреже на нумерички резултат. При томе је поставио шест мрежа са растућим броје елемената и установио зависност, односно, независност решења од броја елемената мреже и одабрао мрежу која задовољава квалитет.

У **петом поглављу** аутор приказује део резултатасвојих истраживања и упоређује добијене резултате са експериментима. Истраживања су обимна и обухватају важне елементе који

описују и дефинишу процесе струјања и сагоревања. При томе аутор варира више независних променљивих: коефицијент вишка ваздуха, вихорни број, дужину централног тела и добија расподелу температуре, концентрације реактаната (базног горива, водоника и кисеоника), брзинско поље, брзину хемијских реакција водоника и базног горива, емисију NO<sub>x</sub>, као и концентрације водене паре и угљен диоксида. Аутор истовремено анализира добијен е резултате и упоређује са експерименталним подацима које има. У анализи констатује да примењени софтвер даје поуздане и добре резултате. Аутор показује у којој мери увођење водоника у базна угљоводонична горива мења показатеље процеса сагоревања: расподелу температуре, брзинско поље као и емисију оксида азота, у односу на горива без додатог водоника. Посебан допринос аутора је ситраживање утицаја централног тела на горе поменуте важне параметре.

У **поглављу шест** аутор доноси на закључке о утицају присуства водоника у базном гориву, као и ефеката независно променљивих параметара – коефицијента вишка ваздуха, вихорног броја, са становишта струјног, температурског и концентрационог поља, утицај на емисију оксида азота у условима сиромашне смеше и кинетичког сагоревања, у вихорној комори за сагоревање са и без присуства централног тела. Такође аутор предлаже смернице за даља истраживања.

### **3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ**

#### **3.1. Савременост и оригиналност**

Докторска дисертација кандидата Мустафе Макхзоума Али Махјоуба (Mustafa Makhzoum Ali Mahjoub), маг. инж. маш. под насловом „Утицај увођења водоника у природни гас на процес сагоревања“ (The effect of blending hydrogen into natural gas on combustion) третира проблематику решавања проблема обновљивих извора енергије, као што су енергија ветра и сунца и њихове нестационарност која ремети стабилност електричних енергетских стационарних систем. Једно од могућих решења је производња водоника и његово складиштење у гасној мрежи, односно великим складиштима гаса и његово коришћење у процесима сагоревања према потребама. Светски прописи предвиђају да учешће водоника не прелази 10% запреминских у смеси са природним и утечњеним нафтним гасовима. У светској литератури има релативно мало радова који третирају ову проблематику а такође уочава се у последње време наглији пораст броја радова, што ову област чини савременом и релативно мање истраженом. Конкретан оригиналан научни циљ дисертације је да у светлу аргумената за и против употребе мешавина фосилних гасовитих горива и водоника истражи утицај претходно припремљене смеше горива и ваздуха на рад вихорног гороника са централним телом и емисије загађујућих продуката сагоревања: CO и NO<sub>x</sub> и формира оригинални нумерички модел који ће бити потврђен експерименталним подацима.

#### **3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу**

Списак литературе коју је кандидат користио дат је у прилогу рада. Коришћена литература обухвата укупно 143 референце. Прегледом референци констатујемо да је кандидат користио

широки избор адекватних референци према поглављима. Већина референци су публиковане у задњих десет година и представљају стање науке у посматраној области.

### **3.3. Опис и адекватност примењених научних метода**

У изради дисертације примењене су научне методе неопходне за нумеричко моделирање и верификацију и добијених резултата. Нумеричка истраживања реализована су коришћењем софтвера ANSYS Fluent и методе коначних елемената. Добијени резултати и модел су постављени на бази оригиналних експерименталних истраживања и потом проверени и потврђени за карактеристичне случајеве.

### **3.4. Применљивост остварених резултата**

Резултати ове докторске дисертације примењиви су у како у научном смислу, тако практичним системима сагоревања. Постављен је модел сагоревања предмешане смеше фосилних гасовитих горива и водоника (10%) у условима вихорне турбулентне струје, за различите вредности коефицијента вишка ваздуха. Потврђени су стабилност сагоревања и емисије загађујућих продуката сагоревања у дозвољеним границама које су приописане одговарајућим правилницима.

Поред нових сазнања у посматраној области, резултати ове дисертације могу да буду корисни истраживачима, конструкторима и оперативном особљу које се бави горионцима, пећима, ложиштима, котловима и другим системима за сагоревање.

### **3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад**

Комисија сматрају да је кандидат показао смисао за научни рад и потребно знање за самосталан научно истраживачки рад, као и решавање инжењерских проблема применом савремених теоријских и нумеричких метода. Такође, кандидат је показао способност да користи научну и стручну литературу. Ова дисертација је конкретан показатељ способности кандидата да анализира проблем, изврши синтезу и примену нових сазнања.

## **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

### **4.1. Приказ остварених научних доприноса**

Увидом у дисертацију Комисија је констатовала следеће научне доприносе:

- Формирање физичко-математичког модела сагоревања смеше угљоводоничних гасовитих горива и водоника.
- Постављање нумеричке методе за сагоревање смеше угљоводоничних гасовитих горива и водоника.

- Потврда применљивости постављене нумеричке методе за симулацију сагоревања у сложеним условима предмешаних система.
- Боље разумевање механизма сагоревања смеше угљоводоничних гасовитих горива и водоника у условима турбулентне вихорне струје.

#### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Имајући у виду области истраживања којима се баве чланови Комисије, одговарајућих публикованих истраживања других истраживача, као и садржаја и резултата докторске дисертације, Комисија сматра да су добијени резултати значајни и применљиви у пракси. Нумеричка истраживања су потврђена одговарајућим резултатима експерименталних истраживања. Кандидат је успешно одговорио захтевима дисертације у свим постављеним елементима и показао способност за самосталан научно истраживачки рад

#### 4.3. Верификација научних доприноса

Верификација добијених оригиналних резултата остварена је кроз рад објављен у међународном часопису категорија M23 .

### 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација кандидата Мустафе Макхзоума Али Махјоуба (Mustafa Makhzoum Ali Mahjoub), маг. инж. маш. под насловом „Утицај увођења водоника у природни гас на процес сагоревања“ (**The effect of blending hydrogen into natural gas on combustion**),

Комисија за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације констатује да је урађена докторска дисертација написана према стандардима у научно-истраживачком раду, као и да испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању, стандардима и Статутом Универзитета и Машинског факултета у Београду. Комисија такође сматра да дисертација представља оригиналан и успешан научно-истраживачки рад, са којим је научна и стручна јавност упозната путем објављеног научног рада објављеног у међународним часопису категорије M23.

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације закључила је да дисертација представља оригинални научни рад са научним доприносом у области техничких наука, ужа научна област Сагоревање, па сагласно томе предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета Универзитета у Београду да прихвати Реферат Комисије и да дисертацију под називом: „Утицај увођења водоника у природни гас на процес сагоревања“ (**The effect of blending hydrogen into natural gas on combustion**), кандидата Мустафе Макхзоума Али

Махјоуба (Mustafa Makhzoum Ali Mahjoub), маг. инж. маш, стави на увид јавности и да Реферат упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 20.04.2018. године

### **Чланови Комисије**

др Мирољуб Ацић, професор емеритус, Машински факултет, Универзитет у Београду,  
ментор

проф. др Драгослава Стојиљковић, Машински факултет, Универзитет у Београду

проф. др Васко Фотев, Машински факултет, Универзитет у Београду

ванр. проф. др Марија Живковић, Рударско геолошки факултет, Универзитет у Београду

доцент др Александар Миливојевић, Машински факултет, Универзитет у Београду