

**ФАКУЛТЕТ ЗА МАШИНСТВО И ГРАЂЕВИНАРСТВО**

**У КРАЉЕВУ**

**УНИВЕРЗИТЕТА У КРАГУЈЕВЦУ**

Факултет за машинство и грађевинарство

у Краљеву

Универзитет у Крагујевцу,

Број

863

Датум: 27.07. 2018 год.

Краљево, Доситејева 19.

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФАКУЛТЕТА ЗА МАШИНСТВО И  
ГРАЂЕВИНАРСТВО У КРАЉЕВУ И ВЕЋУ ЗА ТЕХНИЧКО-ТЕХНОЛОШКЕ  
НАУКЕ УНИВЕРЗИТЕТА У КРАГУЈЕВЦУ**

**Предмет:** Извештај комисије о оцени научне заснованости теме докторске дисертације и испуњености услова кандидата Ненада Стојића, маг. инж. маш.

Одлуком већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу, број **IV-04-573/10** од **11.07.2018.** године, именовани смо за чланове комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације и испуњености услова кандидата **Ненада Стојића**, мастер инжењера машинства, као и оцену теме докторске дисертације под насловом:

**РЕКУПЕРАТОРИ ЗА КОРИШЋЕЊЕ ОТПАДНЕ ТОПЛОТЕ СА РОТАЦИОНИХ  
ЦИЛИНДРИЧНИХ ПОВРШИНА**

која припада научној области машинско инжењерство и ужој научној области топлотна и процесна техника. На основу увида у приложену документацију, Комисија подноси Наставно научно већу Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву, Универзитета у Крагујевцу следећи:

**ИЗВЕШТАЈ**

**1. Научни приступ проблему предложеног нацрта докторске дисертације и процена научног доприноса крајњег исхода рада**

Термички степен корисности трансформације енергије код ротационих пећи за калцинацију доломита је релативно низак и креће се у границама од 55 до 60%. Квантитативно најизраженији топлотни губици су: услед спољашњег расхлађивања плашта ротационе пећи (до 30% горивом унешене енергије) и топлотни губитак садржан у физичкој

топлоти продуката сагоревања (до 20% горивом унешене енергије). Са друге стране, квалитет произведеног калцината зависи од температуре сагоревања горива унутар пећи, при чему се виша температура позитивно одражава на квалитет произведеног калцината. Одговор на питање: како искористити топлоту садржану у губитку топлоте са плашта истовремено повећавајући температуру сагоревања горива у ротационој пећи?; представља најопштији садржај предложене дисертације.

Отпадна топлота са плашта ротационе пећи и других цилиндричних ротационих површина тешко је користити због:

- немогућности заптивања простора између ротационе површине и рекуператора који са ње узима отпадну топлоту.
- потешкоће да се са плашта узме тачно онолико топлоте колико се губи са цилиндричне површине без рекуператора. Овај захтев је кључан како се не би реметили дефинисани технолошки параметри унутар пећи.
- конструкционе сложености да се ваздух предгреје на што је могуће вишу температуру (кад се топлота са плашта користи за предгревање ваздуха за сагоревање горива у ротационој пећи).
- немогућности прилагођавања постојећих конструкција рекуператора примени на ротационим пећима у којима се гориво сагорева ваздухом обогаћеним кисеоником.

Дисертација се темељи на хипотези да се наведени проблеми могу решити применом адекватних конструкција конвективно зрачних рекуператора. За добијање њихових најважнијих геометријских параметара у дисертацији се развијају математички модели, који је планирано да се верификују експериментално и коришћењем експерименталних резултата других аутора. Ово је пут којим у дисертацији треба да се приступи решавању изложеног проблема.

Крајњи исход дисертације би требало да буду математички модели и техничка решења, чија примена доприноси унапређењу рада и енергетске ефикасности система који са ротационих цилиндричних површина емитују отпадну топлоту у околину.

#### Веза са досадашњим истраживањима

Полазна основа дисертације су резултати и проблеми уочени при развоју и примени конвективно зрачног рекуператора са једним пролазом топлоте. Конструкција овог рекуператора развијена је на истој катедри на којој кандидат треба да изради своју дисертацију.<sup>12</sup> За развој модела и решења у дисертацији, кандидат ће се осим на поменуте резултате ослонити и на резултате и достигнућа представљене у литератури приложеној у Пријави докторске дисертације. У њој су се аутори базирали на развоју модела и конструкција које користе само губитак топлоте зрачењем са ротационих цилиндричних површина. Кандидат треба да начини искорак и да развије конструкцију, која ће осим топлотних губитака зрачењем, користити укупне (конвективне и зрачне) губитке топлоте са ротационих цилиндричних површина.

---

<sup>1</sup> Карамарковић В., Марашевић М., Карамарковић Р., Карамарковић М., **Recuperator for waste heat recovery from rotary kilns**, Applied Thermal Engineering 2013, Volume 54, Issue 2, pp. 470-480, ISSN: 1359-4311, (M21a)

<sup>2</sup> Поменути рекуператор био је предмет једне докторске дисертације на истој катедри <http://doiserbia.nb.rs/phd/fulltext/KG20131202MARASEVIC.pdf>



## 2. Образложење предмета, метода и циља који уверљиво упућују да је предложена тема од значаја за развој науке

### Предмет, циљеви и хипотезе ове дисертације

Стратегија енергетског развоја Републике Србије<sup>3</sup> је као највиши приоритет дефинисала континуитет технолошке модернизације постојећих енергетских система и извора повећањем енергетске ефикасности и коришћењем енергетски ефикасних и еколошки прихватљивих технологија. Значајан потенцијал за повећање енергетске ефикасности у области обојене металургије је коришћење отпадне топлоте са плашта ротационих цилиндричних површина и интензификација рада ротационих пећи за калцинацију руде доломита обогаћивањем ваздуха за сагоревање кисеоником. Једна постојећа, неефикасна пећ за калцинацију доломита (топлотни губитак са површине пећи износи више од 50% горивом унесене енергије) представља мотив, а уједно и експериментално постројење за предложену дисертацију. Решења, која треба да се предложи дисертацијом, се не ограничавају само на њу, већ су применљива на свим ротационим цилиндричним површинама које губе топлоту у околину.

Циљ рада је да се коришћењем рекуперативних размењивача топлоте повећа термички степен корисности коришћењем укупне расположиве отпадне топлоте која се зрачењем и конвекцијом губи са плашта ротационе пећи у зони калцинације. Обогаћење ваздуха за сагоревање горива у пећи кисеоником побољшава квалитет произведеног калцината, али и утиче на повећање топлотног губитка са плашта у околину. У случајевима већег обогаћења, температуре плашта у зони калцинације могу да нарасту толико да угрозе стабилност читаве пећи. Правилно димензионисан рекуператор за загревање ваздуха треба да хлади плашт, искористи његов укупни топлотни губитак и врати топлоту у процес не нарушавајући технолошке параметре рада пећи.

Дисертација има два основана задатка:

1. У раду<sup>4</sup> је дефинисана једноставна, поуздана и ефикасна конструкција конвективно зрачног рекуператора која је показала недостатке при примени на великим дужинама зато што прави велики пад притиска (изискује велику снагу вентилатора) и није примењива при обогаћивању ваздуха кисеоником изнад 23 зап% код ротационих пећи. Први задатак рада је да се поменута конструкција измени и надгради ради отклањања уочених недостатака. Реконструкција се предлаже ради оптималног коришћења укупне (конвективне и зрачне) отпадне топлоте која се са плашта ротационе пећи губи у зони калцинације без и са различитим степенима обогаћења ваздуха за сагоревање кисеоником.
2. Други задатак дисертације је анализа могућности коришћења укупне расположиве отпадне топлоте за загревање ваздуха за сагоревање применом конвективно зрачног размењивача топлоте са два пролаза и дефинисање његових основних конструкционих параметара.

Основна хипотеза рада је да постоји конструкција (адекватних: димензија, броја улазних отвора и шеме струјања) конвективно зрачног рекуператора тако да се тачно дефинисана

---

<sup>3</sup> Стратегија развоја енергетике Републике Србије до 2025. године са пројекцијама до 2030. године. [http://www.parlament.gov.rs/upload/archive/files/lat/pdf/akta\\_procedura/2014/113-14Lat.pdf](http://www.parlament.gov.rs/upload/archive/files/lat/pdf/akta_procedura/2014/113-14Lat.pdf)

<sup>4</sup> погледати фусноту <sup>1</sup>

отпадна топлота једнака топлотном губитку са плашта постојеће пећи може искористити за предгревање ваздуха који се користи за сагоревање горива у ротационој пећи за калцинацију доломита. Ова конструкција има предност зато што, за разлику од постојећих техничких решења која користе само губитак топлоте зрачењем, користи и губитак топлоте конвекцијом у околину.

Друга хипотеза је да се предложена конструкција може применити на пећи кад у њој сагорева гориво коришћењем ваздуха обогаћеним кисеоником изнад 23 зап%. Значај обогаћивања ваздуха је што подиже температуру сагоревања горива а тиме и квалитет произведеног калцината.

Трећа хипотеза је да се ефикасност рекуператора може побољшати применом рекуператора са двоструким пролазом. Претпоставка је да се применом овакве конструкције за сагоревање у ротационој пећи може користити ваздух загрејан на вишу температуру и обогаћен кисеоником изнад 23 зап%.

### Методe истраживања

Рад чине експериментална и теоријска истраживања. Експериментална истраживања имају циљ да се одреди топлотни биланс ротационе пећи за различите степене обогаћења ваздуха кисеоником што чини основу за израду модела конвективно зрачних рекуператора топлоте.

Теоријска истраживања се односе на изналажење оптималне конструкције рекуператора (оптималних: димензија, броја улазних отвора и шеме струјања) при сагоревању горива у пећи ваздухом обогаћеним кисеоником. У оквиру теоријских истраживања биће извршена израда два модела конвективног зрачног рекуператора топлоте. Модел са једним пролазом загрејаног ваздуха ће омогућити и одређивање оптималног броја размењивача на бази ексергијске анализе. Модел са два пролаза би сагледао могућност да се укупна расположива отпадна топлота са плашта из зоне калцинације пећи искористи за предгревање ваздуха за сагоревање.

### Оквирни садржај докторске дисертације

Дисертација би требало да се изложи у осам поглавља са следећим оквирним садржајем:

1. Енергетска ефикасност у индустрији.
2. Потенцијали за побољшање енергетска ефикасности ротационих пећи.
3. Обогаћивање ваздуха за сагоревање кисеоником.
4. Експериментално одређивање топлотног биланса ротационе пећи.
5. Израда модела конвективно зрачног рекуператора са једним пролазом.
6. Израда модела конвективно зрачног рекуператора са два пролаза.
7. Одређивање оптималног облика рекуператора при сагоревању горива са различитим степенима обогаћења ваздуха за сагоревање кисеоником у пећи.
8. Закључак рада.



**3. Образложење теме за израду докторске дисертације које омогућава закључак да је у питању оригинална идеја или оригинални начин анализирања проблема**

Комисија закључује да је предложена тема докторске дисертације **РЕКУПЕРАТОРИ ЗА КОРИШЋЕЊЕ ОТПАДНЕ ТОПЛОТЕ СА РОТАЦИОНИХ ЦИЛИНДРИЧНИХ ПОВРШИНА** кандидата **Ненада Стојића** оригинална идеја. Закључак се темељи на јединствености проблема. Наиме, конвективно зрачни рекуператори са више пролаза око ротационих површине не постоје ни као патенти, ни као техничка решења, нити се срећу у литератури и пракси. Вишепролазни конвективно зрачни рекуператори се једино срећу као патентна решења за коришћење отпадне топлоте са стационарних цилиндричних површина. Са друге стране, један део планираних активности на дисертацији обухвата унапређење постојећег решења развијеног на катедри на којој кандидат израђује своју дисертацију.

**4. Усклађеност дефиниције предмета истраживања, основних појмова, предложене хипотезе, извора података, метода анализе са критеријумима науке уз поштовање научних принципа у изради коначне верзије докторске дисертације**

Научне методе које кандидат треба да примени у дисертацији су: анализа, хипотеза, евалуација и експериментална потврда. Сви кораци у изради предложене дисертације се заснивају на поштовању основних научних принципа области науке којој припадају: нултог, првог и другог закона термодинамике и закона одржању масе. Без поштовања ових принципа дисертација би била безвредна. Литература, коју је кандидат доставио у Пријави дисертације улива сигурност са аспекта поштовања научних принципа јер је прошла детаљну рецензентску контролу. Чланови комисије гаје наду да ће кандидат у изради дисертације поштовати набројане физичке принципе као и да ће користити проверене и релевантне изворе података у свом раду.

**5. Преглед научно-истраживачког рада кандидата**

Ненад П Стојић, мастер инж. маш. рођен је 07.05.1987. године у Чачку. Основну школу завршио је у ОШ „Милан Благојевић“ у Лучанима а матурирао у „Техничкој школи“ у Пожеги, образовни профил „Машински техничар за компјутерско конструисање“.

Основне академске студије на Машинском факултету у Краљеву уписао је школске 2006/07. године, завршио их у предвиђеном року, и дипломирао 29.01.2010. године, на смеру Топлотна техника и заштита животне средине. Током основних студија, остварио је просечну оцену 8,12 (осам и 12/100). Завршни рад „Пројекат реконструкције топловода применом предизолованих цеви“ одбранио је са оценом 10 (десет) из предмета Топлотни уређаји и постројења.

Мастер академске студије на Машинском факултету у Краљеву уписао је школске 2009/10. године, завршио их у предвиђеном року, и дипломирао 30.09.2011. године на модулу Енергетика и аутоматско управљање. Током мастер студија остварио је просечну оцену 9,57 (девет и 57/100). Мастер рад под називом „Хидромашинско постројење мини хидроелектране (МХЕ) за производњу електричне енергије“ одбранио је са оценом 10 (десет) из предмета Обновљиви извори енергије.

Докторске академске студије уписао је школске 2011/12. године на Машинском факултету у Краљеву (сада Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву). Од



ноцембра 2011. године запослен је на Машинском факултету у Краљеву (сада Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву) у својству истраживача сарадника на пројекту „Развој енергетски ефикасног постројења за гасификацију и когенерацију чврсте биомасе“ евиденциони број ТР 33027 код Министарства за науку и технолошки развој Републике Србије, а од фебруара 2016. године запослен ја на Факултету за машинство и грађевинарство у Краљеву у својству асистента за ужу научну област Топлотна техника и заштита животне средине. У периоду 09.05-13.05.2016. године боравио је на техничком универзитету у Бјалистоку у оквиру програма мобилности ЕРАСМУС+.

Научно-истраживачка активност кандидата припада области топлотне технике, а уско је везана за области индустријске енергетике и процесне технике. Кандидат је објавио 10 научних и стручних радова у домаћим и међународним часописима, као и на међународним скуповима и 2 техничка решења.

На основу увида у његов досадашњи рад сматрамо да је кандидат Ненад Стојић показао интересовање, склоност и способност за научно-истраживачки рад.

#### Објављени радови кандидата

Радови у часописима са SCI листе (категирија М23):

1. Сузана Д. Кнежевић, Раде М. Карамарковић, Владан М. Карамарковић, **Ненад П. Стојић**, Radiant recuperator: Modeling and Design, Thermal Science 2016, doi:10.2298/TSCI160707232K

Саопштења на међународним научним скуповима (категирија М33):

2. Карамарковић Р., Карамарковић В., Лазаревић А., Марашевић М. **Стојић Н.**: The use of preheated low-enriched air in downdraft gasifiers: energy and exergy analysis, International conference SIMTERM 2013, Октобар 2013., Соко Бања, Машински факултет Ниш, pp. 54-64., ISBN 978-86-6055
3. Марашевић М., Карамарковић В., Карамарковић Р., **Стојић Н.**: Energetic and exergetic evaluation of 4 systems for a rotary kiln improvement, The 8th International Triennial Conference Heavy Machinery-HM'11, Јун 2014., Златибор, Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву, G69-G75., ISBN 978-86-82631-74-3
4. Карамарковић В., Николић М., Карамарковић Р., **Стојић Н.**, Optimization of the pipeline diameter for a small hydropower plant: case study, XXXII international conference Energetika, Март 2016., Златибор, Савез енергетичара, pp. 152-158., ISSN 0354-8651, UDC: 621.22.004
5. Владан М. Карамарковић , Раде М. Карамарковић , Милош В. Николић, **Ненад П. Стојић**, IMPROVING POWER PRODUCTION OF SMALL HYDROPOWER PLANT, Full Papers Proceeding of International Conference "Power Plants 2016", Новембар 2016., Златибор Србија, ISBN 978-86-7877-024-1, pp. 337 – 345
6. Раде М. Карамарковић , Владан М. Карамарковић, Милош В. Николић, **Ненад П. Стојић**, ENERGY RECOVERY FROM UNCONVERTED BIOMASS CHAR, Full Papers Proceeding of International Conference "Power Plants 2016", Новембар 2016., Златибор Србија, ISBN 978-86-7877-024-1, pp. 328 – 336

7. Раде Карамарковић, Владан Карамарковић, Милош Николић, **Ненад Стојић**, Миљан Марашевић, OPTIMIZATION OF FLOW SCHEMES IN RADIANT RECUPERATORS, IX Triennial International Conference "Heavy Machinery-НМ 2017", Златибор, June 28 – July 1 2017, F.15 – F.21
8. Миљан Марашевић, Владан Карамарковић, **Ненад Стојић**, Милош Николић, Ђорђе Новчић, DESIGNING RECUPERATOR ON A ROTARY KILN SUPPLIED WITH ENRICHED AIR DURING THE CALCINATION OF DOLOMITE, IX Triennial International Conference "Heavy Machinery-НМ 2017", Златибор, June 28 – July 1 2017, F.29 – F.36

Радови у националним часописима (категорија М52):

9. Миљан Марашевић, Владан Карамарковић, Раде Карамарковић, **Ненад Стојић**, Милош Николић, Техно-економска анализа конверзије горива у котларници даљинског система грејања, ИМК-14 – Истраживање и развој у тешкој машиноградњи 23(2017)1, SR25-30 UDC 621 ISSN 0354-6829
10. Карамарковић Р., Карамарковић В., Лазаревић А., Марашевић М., **Стојић Н.**, Белоица Б.: Exergy Analysis of a Biomass Cogeneration System. ИМК 14. октобар, 2013. Вол. 18, рр. EN 123-128., ISSN 0354-6829

Техничка и развојна решења (категорија М80)

11. Раде Карамарковић, Владан Карамарковић, Миљан Марашевић, **Ненад Стојић**, Милош Николић, Ђорђе Новчић, ЛОЖИШТЕ СА СИСТЕМОМ ЗА САМОЧИШЋЕЊЕ СТАКЛА ПЕЛЕТ КАМИНА VIOLUX 20, Ново техничко решење примењено на међународном нивоу (М81)
12. Раде Карамарковић, Владан Карамарковић, Миљан Марашевић, Анђела Лазаревић, **Ненад Стојић**, Милош Николић, ИСТОСМЕРНИ РЕАКТОР СА СИСТЕМОМ ЗА ПРЕДГРЕВАЊЕ ВАЗДУХА ЗА ГАСИФИКАЦИЈУ, Ново лабораторијско постројење. (М83)

Учешће на научно-истраживачким пројектима

13. ТР-33027, финансиран од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије, 2011-2018, „Развој енергетски ефикасног постројења за гасификацију и когенерацију чврсте биомасе“. Руководилац пројекта проф. др Владан Карамарковић. Носилац истраживања Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву.

На основу напред наведеног у извештају, Комисија доноси следећи

### **ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ КОМИСИЈЕ**

Ненад Стојић, мастер инжењер машинства, испуњава све предвиђене услове за израду докторске дисертације.



Комисија предлаже Наставно-научном већу Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву Универзитета у Крагујевцу и Већу за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу да предложена тему докторске дисертације:

### РЕКУПЕРАТОРИ ЗА КОРИШЋЕЊЕ ОТПАДНЕ ТОПЛОТЕ СА РОТАЦИОНИХ ЦИЛИНДРИЧНИХ ПОВРШИНА

прихвати и одобри њену израду кандидату Ненаду Стојићу маг. инж. маш.

Комисија предлаже да ментор дисертације буде др Раде Карамарковић, ванредни професор Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву Универзитета у Крагујевцу.

#### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

1. **др Владан Карамарковић**, редовни професор, Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву, ужа научна област: топлотна техника и заштита животне средине, председник.



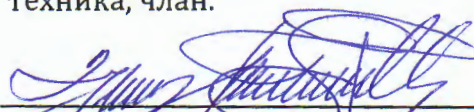
---

2. **др Александар Јововић**, редовни професор, Машински факултет Београд, ужа научна област: процесна техника, члан.



---

3. **др Душан Тодоровић**, доцент, Машински факултет Београд, ужа научна област: процесна техника, члан.



---

4. **др Мирко Стојиљковић**, доцент, Машински факултет Ниш, ужа научна област: термотехника, термоенергетика и процесна техника, члан.



---

5. **др Миљан Марашевић**, доцент, Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву, ужа научна област: топлотна техника и заштита животне средине, члан.



---

У Краљеву,

07.2018.