

# УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ

## ФАКУЛТЕТ ЗА МАШИНСТВО И ГРАЂЕВИНАРСТВО У КРАЉЕВУ

### КАТЕДРА ЗА ЕНЕРГЕТИКУ И ЗАШТИТУ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ

Факултет за машинство и грађевинарство  
у Краљеву  
Универзитета у Крагујевцу,  
Број: 275  
Датум: 09.03. 2015 год.  
Краљево, Доситејева 19.

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Извештај Комисије о подобности кандидата и теме докторске дисертације  
мр Сузана Кнежевић, дипл.инж.маш.

На седници Стручног већа за техничко – технолошке науке Универзитета у Крагујевцу одржаној дана 11. 02. 2015. године, одлуком број IV-04-51/20 именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности кандидата мр Сузана Кнежевић за израду докторске дисертације као и за оцену теме докторске дисертације под називом

### ЕКСЕРГИЈСКА ОПТИМИЗАЦИЈА РАДА ПЕЋИ ЗА ПРОИЗВОДЊУ СТАКЛЕНИХ ВЛАКАНА

На основу увида у приложену документацију и лично познавајући кандидата, Комисија подноси Научно-наставном већу Факултета следећи

## ИЗВЕШТАЈ

### 1.1 Лични подаци

Сузана Д. Кнежевић, дипл. инж. машинства, рођена 04. 01. 1971. у Тузли, Босна и Херцеговина. Након завршене основне и средње школе у Тузли, 1989. год., уписала Факултет електротехнике и машинства у Тузли, смер Енергетско машинство. Трећу годину студија наставила 1992. год. на Машинском факултету у Краљеву, смер Производно машинство. Дипломирала 1995. год. са просечном оценом 8.57 и исте године уписала последипломске студије на Машинском факултету у Краљеву, смер Термоенергетска постројења. Магистарску тезу под насловом “Интензификација рада ротационе пећи обогаћивањем ваздуха за сагоревање кисеоником“, одбранила августа 1998. године и стекла звање магистра техничких наука из области термоенергетских постројења.



По окончању основних студија радила две године (1996. - 1998. год.) као истраживач - сарадник на Катедри за термодинамику и конструкцију технолошких постројења, на Машинском факултету у Краљеву. Од 1999. до 2004. године радила је као пројектант - конструктор за процесну опрему у сектору развоја Фабрике процесне опреме и шина вођица "ELVACO" а.д. у Бијељини. На Техничком факултету у Чачку, Универзитет у Крагујевцу, преквалификовала се за звање професор техничког образовања (2003. - 2004. год. ). Од 2004. год. ради као професор Техничког и информатичког образовања у ОШ "Стојан Новаковић" у Шапцу.

## 1.2 Наслов, предмет и хипотезе докторске дисертације

- *Наслов докторске дисертације*

Комисија је сагласна да наслов теме који је предложен од стране кандидата: "Ексергијска оптимизација рада пећи за производњу стаклених влакана" не треба мењати.

- *Предмет докторске дисертације*

Стратегија енергетског развоја Републике Србије за период до 2025. године са пројекцијама до 2030. године као приоритет дефинисала је континуитет технолошке модернизације постојећих енергетских система и извора повећањем енергетске ефикасности и коришћењем енергетски ефикасних и еколошки прихватљивих технологија. Највећи енергетски проблем у овом тренутку је ниска производна активност енергетски неинтензивних грана индустрије, насупрот високој активности у области црне и обојене металургије. Изналажење оптималних начина за смањење специфичне потрошње енергије у наведеним областима у многоструком доприносу усклађивању рада и развоја целине енергетског сектора. Значајан потенцијал за повећање енергетске ефикасности у области обојене металургије представљају нискоефикасна постројења за производњу стакла и стаклених влакана. Термички степен корисности трансформације енергије код пећи за производњу стаклених влакана је низак, и налази се у границама од 15 до 25% (корисну топлоту чине топлота стварања стакла и физичка топлота произведеног стакла). Квантитативно најизраженији су: топлотни губитак садржан у физичкој топлоти продуката сагоревања (чини више од 40% горивом унешене енергије) и губитак услед спољашњег расхлађивања (до 30% горивом унешене енергије). Поред наведених топлотних губитака проблем за ефикасније функционисање пећи представљају и ниже температуре сагоревања, које се негативно одражавају на квалитет произведеног стакла и повећану специфичну потрошњу енергије у даљем технолошком поступку.

Циљ рада је да се коришћењем постојећих енергетских, сировинских и технолошких ресурса повећа термички степен корисности стакларске пећи уз побољшање квалитета произведеног стакла.

Без обзира што се компанија за производњу стаклених влакана налази у делу државе у коме не постоји дистрибутивна мрежа, пећ као енергент користи гасовито гориво. Имајући у виду да се у непосредној близини компаније налази рудник мрког угља у раду би се анализирао потенцијал његовог коришћења у пећи за производњу стаклених влакана. Идеја је да се у пећи користи пречишћени генераторски гас што је могуће више температуре ради добијања високе температуре сагоревања и коришћења локалног и јефтиног енергента.



Обогаћивање ваздуха за сагоревање кисеоником код стакларских пећи један је од начина интензификације њиховог рада. Наиме, обogaћен ваздух повећава брзину и температуру сагоревања, побољшава аеродинамичке особине пламена и смањењем количине азота у продуктима сагоревања смањује количину продуката сагоревања, што узрокује смањење губитка у физичкој топлоти продуката. Повећана температура сагоревања побољшава квалитет произведеног стакла и интензивира размену топлоте зрачењем. Најизраженији негативни ефекат је повећање топлотног губитка услед спољашњег расхлађивања, због повишене температуре сагоревања. Три основна задатка у раду су:

1. изналажење начина за смањење топлотног губитка садржаног у физичкој топлоти гасовитих продуката. Циљ овог задатка је унапрђење постојећег техничког решења за коришћење отпадне топлоте садржане у физичкој топлоти гасовитих продуката;
2. сагледавање могућности за коришћење генераторског гаса као извора топлоте стакларске пећи који би се произвео гасификацијом локалног угља.;
3. одабир оптималног систем за рекулпацију отпадне топлоте стакларске пећи коришћењем ексергијске анализе.

- **Основна хипотеза**

У оквиру истраживања на Катедри за енергетику и заштиту животне средине на Факултету за машинство и грађевинарство у Краљеву пројектован је зрачни размењивач топлоте за коришћење физичке топлоте продуката сагоревања стакларске пећи. Експериментални резултати добијени након уградње пројектованог система су показали да је могуће даље смањење топлотног губитка садржаног у физичкој топлоти продуката применом зрачног размењивача топлоте са двојном циркулацијом ваздуха, у комбинацији са обogaћивањем кисеоником, ваздуха за сагоревање.

Друга хипотеза рада је да је могуће коришћењем постојећих комерцијалних технологија гасификације угља и пречишћавања горивог гаса направити систем за коришћење локалног угља као енергента у стакларској пећи. Овакав начин коришћења локалног угља требао би са собом да донесе економску и технолошку добити. Економска добит би се огледала у нижим трошковима енергента а технолошка у вишој температури сагоревања.

Трећа хипотеза претпоставља да постоји ексергијски оптималан систем за рекулпацију отпадних топлота и повећање енергетске ефикасности и квалитета произведеног стакла.

### **1.3 Подобност кандидата**

Кандидат мр Сузана Кнежевић је објавила, као аутор и коаутор, 2 рада у домаћим и међународним часописима и 1 рад на међународном скупу. Учествовала је на реализацији 3 научно-истраживачка пројеката финансираних од стране Министарства за науку, као и на бројним пројектима за потребе привреде.



- *Списак објављених радова у часописима*

1. Карамарковић В. , **Кнежевић С.:** „ Интензификација рада ротационе пећи предгревањем ваздуха за сагоревање“, Процесна Техника, број 2-3, јуни-октобар 1998, година 14. стр. 147-151.  
YU ISSN 0352-678X.  
(M52)
2. Милан Лукић, **мр Сузана Кнежевић.:** „Отпрашивање (аспирација) пријемних места за зрно на силосима“, ПТЕП - часопис за процесну технику и енергетику у пољопривреди vol. 4, 2000. год. р. 59- 64  
<http://www.tehnologijahrane.com/casopis/casopis-za-procesnu-tehniku-i-energetiku-u-poljoprivredi-2000-br-3-4>  
(M52)

- *Списак објављених радова на скуповима*

1. **мр Сузана Кнежевић.:**„Упоредна анализа законске регулативе из области управљања отпадом у Србији и земљама у окружењу (БиХ, Црна Гора, Хрватска)“, Међународна конференција „Отпадне воде, комунални чврсти отпад и опасан отпад“, Суботица 29. марта -1. априла 2010., Зборник радова, Удружење за технологију воде и санитарно инжењерство.  
ISBN 978-86-82931-34-8  
COBISS. SR-ID 174159628  
(M33)

- *Научно истраживачки пројекти*

1. Карамарковић В., Кнежевић С., и други: „Коришћење отпадне топлоте услед спољашњег расхлађивања“, подпројекат пројекта: „Енергетски ефикасна и рационална постројења са струјно – термичким процесима“, Научно - истраживачки пројекат (Министарство науке и технологије), Машински факултет у Краљеву, 1994. – 1997.
2. Карамарковић В., Гашић М., Кнежевић С., и други: „Развој конвективног зрачног рекуператора топлоте за примену у индустрији стакла“, Научно – истраживачки пројекат, Машински факултет у Краљеву, 1996. -1999.
3. Карамарковић В., Гашић М., Кнежевић С., и други: „ Коришћење дрвних биљних отпадака за производњу енергије поступком истосмерне гасификације“, Научно – истраживачки пројекат, Машински факултет у Краљеву, април 1996.

На основу изнетих података у тачкама 1.1 и 1.3 и на основу личног познавања кандидата сматрамо да је мр Сузана Кнежевић у досадашњем раду показала



интересовање, способност и самосталност за научноистраживачки рад. Чита, пише и говори енглески језик, што је неопходно за несметан научноистраживачки рад.

## 1.4 Преглед стања у подручју истраживања

У раду се жели повећати капацитет и термички степен корисности стакларске пећи коришћењем постојећих енергетских, сировинских и технолошких ресурса.

### Референце:

1. A. Abbassi., Kh. Khoshmanesh.: „Numerical simulation and experimental analysis of an industrial glass melting furnace”. Applied Thermal Engineering 28 (2008), Pages 450-459.

**DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2007.05.011**

*У овом раду говори се о тродимензионалној анализи гасом снабдеване и регенеративним размењивачима опремљене стакларске пећи. Претстављен је и нови, бржи и флексибилнији модел за симулирање рада пећи и свих њених зона истовремено.*

2. Dorian Musat., Mihai Udriste.: “Model and computer program for radiation dimensioning air heaters used heating furnaces”. The Scientific Bulletin of VALAHIA University – MATERIALS and MECHANICS – Nr. 7 (year 10) 2012.

**[http://fimmr.valahia.ro/sbmm.html/docs/2012/materials/5\\_Musat\\_2012.pdf](http://fimmr.valahia.ro/sbmm.html/docs/2012/materials/5_Musat_2012.pdf)**

*У овом раду претстављен је модел за лако и једноставно димензионисање система за зрачну рекуперацију топлоте са пећи који се користе у производњи метала.*

3. K. Tapasa., T. Jitwatcharakomol.: “Thermodynamic calculation of exploited heat used in glass melting furnace”. Procedia Engineering 32, (2012), Pages 969-975.

**<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705812014646>**

**DOI: 10.1016/j.proeng.2012.02.040**

*Узимајући у обзир огромне количине енергије које се користе у стаклаској индустрији и високу температуру топљења у процесу производње стакла, која износи од 1500 до 1600 °C, у раду је развијен енергетски биланс стакларске пећи. Представљене су промене енергетског биланса са променама капацитета пећи, као и енергетски биланси још две различите стакларске пећи.*

4. King-Leung Wong., Ming-Tsun Ke., Shi-Shi Ku.: “The long mean heat transfer rate method of heat exchanger considering the influence of heat radiation”, Energy Conversion and Management; Volume 50, Issue 11, November 2009, Pages 2693–2698.

**<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890409001988>**

**DOI: 10.1016/j.enconman.2009.05.024**



При прорачуну размењене количине топлоте код размењивача топлоте уобичајено је коришћење средње логаритамске температурске разлике. Ова разлика занемарује размењену топлоту зрачењем, јер она зависи од четвртог степена температуре. Испитивања на прстенастим каналима су показала да топлота размењена зрачењем и при температурској разлици од само 1 °C између спољне површине кружног прстена и околине није занемарљива. Зато је у овом раду развијен метод средњег логаритамског топлотног флукса, који узима у обзир и размењену топлоту зрачењем.

5. Higman C., Van der Burgt M., : "Gasification", Elsevier, Amsterdam, year 2003, pages 403.

Ово је књига која даје преглед технологија гасификације у зависности од карактеристика коришћеног угља. Даје особине и карактеристике великог дијапазона различитих угљева са индустријским примерима добре праксе.

6. Sugiyama S., et al.,: "Gasification Performance of Coals Using High Temperature Air", Energy; Volume 30, Issues 2–4, February–March 2005, Pages 399–413.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544204003007>

DOI: 10.1016/j.energy.2004.06.001

У овом раду представљен је систем који је и дао идеју да би се локални угљак могао користити за производњу гасовитог горива које би се користило у стакларској пећи. Рад даје експериментална испитивања система за гасификацију угља у струји гаса са ваздухом предгрејаним на 1000 °C. Добијени гориви гас, топлотне моћи од 1000 kcal/m<sup>3</sup> је потом коришћен у локалном котлу.

7. Р. Карамарковић: Ексергијска анализа и синтеза аутотермалних система за гасификацију биомасе, докторска дисертација, Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву, 2011., страна. 166.

У овом раду дато је неколико равнотежних и квази равнотежних модела за гасификацију који су валидирани на биомаси и угљу као горивима, и који се могу користити за предвиђање састава горивог гаса у широком дијапазону температура гасификације. Такође је и дата ексергијска анализа и синтеза система на основу ексергијске анализе.

Главни допринос тезе биће:

- интензификација рада стакларске пећи коришћењем постојећих сировинских, енергетских и технолошких ресурса,
- израђен модел за одређивање оптималног облика зрачног размењивача топлоте са двојном циркулацијом,
- израђен модел за одређивање материјалног и топлотног биланса продуката гасификације угља и анализа спрегнутог система за производњу генераторског гаса из угља и његово коришћење у стакларској пећи,
- одређен ексергијски оптималан систем за коришћење отпадних топлота стакларске пећи.



## **1.5 Значај и циљ истраживања са становишта актуелности у одређеној научној области**

Циљ рада је да се коришћењем постојећих енергетских, сировинских и технолошких ресурса повећа термички степен корисности стакларске пећи уз побољшање квалитета произведеног стакла.

Пећ као енергент користи гасовито гориво. Имајући у виду да се у непосредној близини компаније налази рудник мрког угља у раду би се анализирао потенцијал његовог коришћења у пећи за производњу стаклених влакана. Идеја је да се у пећи користи пречишћени генераторски гас што је могуће више температуре ради: добијања високе температуре сагоревања и коришћења локалног енергента.

## **1.6 Везе са досадашњим истраживањима**

Како се кандидат у оквиру последипломских студија и приликом израде магистарског рада бавио енергетском ефикасношћу индустријских система, сматрамо да ће рад у оквиру ове дисертације омогућити кандидату континуитет у раду. Поред тога комисија сматра да ће израдом предложене дисертације кандидат продубити знања у овој области.

## **1.7 Методе истраживања**

У основи рад чине теоријска и експериментална истраживања. Теоријска истраживања обухватају:

- израду модела за димензионисање зрачног рекуператора топлоте са двојном циркулацијом,
- израду модела система за рекулацију отпадних топлота стакларске пећи и његову ексергијску анализу.
- израду модела за одређивање количине и састава продуката гасификације угља.

Експериментална истраживања обухватају:

- одређивање материјалног и топлотног биланса стакларске пећи у индустријским условима,
- експериментална верификација модела за одређивање оптималног облика зрачног рекуператора топлоте са двојном циркулацијом.

## 1.8 Очекивани резултати докторске дисертације

Очекивани резултат докторске дисертације су:

1. интензификација рада стакларске пећи коришћењем постојећих сировинских, енергетских и технолошких ресурса,
2. израђен модел за одређивање оптималног облика зрачног размењивача топлоте са двојном циркулацијом.
3. израђен модел за одређивање материјалног и топлотног биланса продуката гасификације угља и анализа спрегнутог система за производњу генераторског гаса из угља и његово коришћење у стакларској пећи.
4. одређен ексергијски оптималан систем за коришћење отпадних топлота стакларске пећи коришћењем свих у раду анализираних и пројектованих технологија.

## 1.9 Оквирни садржај дисертације

Планирана истраживања у оквиру овог докторског рада обавиће се у три дела. У првом делу извршиће се експериментално одређивање материјалног и топлотног биланса стакларске пећи, и моделирање ради одређивања оптималног облика зрачног размењивача топлоте са двојном циркулацијом. Резултати ће бити и експериментално верификовани.

У другом делу рада, коришћењем проверених модела за гасификацију симулирао би се рад система који би се састојао из: производње генераторског гаса гасификацијом угља, пречишћавање гаса и његовог коришћења у стакларској пећи. Анализирале би се предности и мане коришћења овог система.

У трећем делу докторског рада извршиће се ексергијска анализа система за коришћење отпадних топлота стакларске пећи.

Докторски рад биће изложен у седам поглавља са следећим оквирним садржајем:

1. Стање и потенцијали за побољшање енергетска ефикасност у индустрији.
2. Стакларске пећи и процеси са обогаћивање ваздуха за сагоревање кисеоником.
3. Модел за одређивање оптималног облика зрачног размењивача топлоте са двојном циркулацијом.
4. Потенцијал за коришћење генераторског гаса производног гасификацијом локалног угља као енергента стакларске пећи.
5. Ексергија и ексергијска анализа.
6. Одређивање ексергијски оптималног система за коришћење отпадних топлота стакларске пећи.
7. Закључак рада.



## 1.10 Ментор

Образложење:

**Др Владан Карамарковић**, редовни професор се бави истраживањима из уже научне области *Топлотна техника и заштита животне средине*.

Сагласно допунама стандарда докторских студија ментор има објављене следеће радове у часописима са SCI листе:

1. **Vladan Karamarković**, Miljan Marašević, Rade Karamarković, Miodrag Karamarković.: „*Recuperator for waste heat recovery from rotary kilns*“. APPLIED THERMAL ENGINEERING. Volume 54, Issue 2, 30 May 2013, Pages 470–480.  
DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2013.02.027  
(M21)
2. Karamarkovic Rade M., **Karamarkovic Vladan M.**, Jovovic Aleksandar M., Marasevic Miljan R., Lazarevic Andjela D.: „*Biomass Gasification with Preheated Air: Energy and Exergy Analysis*“. THERMAL SCIENCE, (2012), vol. 16 br. 2, str. 535-550.  
DOI:10.2298/TSCI110708011K  
(M23)
3. Karamarkovic Rade M., **Karamarkovic Vladan M.**: „*Energy and exergy analysis of biomass gasification at different temperatures*“. ENERGY, (2010), vol. 35 br. 2, str. 537-549.  
DOI:10.1016/j.energy.2009.10.22  
(M21)
4. Stevanovic Vladimir D., Zivkovic Branislav, Prica Sanja, Maslovaric Blazenka, **Karamarkovic Vladan M.**, Trkulja Vojin.: „*Prediction of thermal transients in district heating systems*“. ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT, (2009), vol. 50 br. 9, str. 2167-2173.  
DOI: 10.1016/j.enconman.2009.04.034.  
(M21)
5. Stanojevic Miroslav M, Radic Dejan B, Jovovic Aleksandar M, Pavlovic Milan, **Karamarkovic Vladan M.**: „*The Influence Of Variable Operating Conditions On The Design And Exploitation Of Fly Ash Pneumatic Transport Systems In Thermal Power Plants*“. BRAZILIAN JOURNAL OF CHEMICAL ENGINEERING, (2008), vol. 25 br. 4, str. 789-797.  
DOI.:10.1590/S0104-66322008000400016  
(M23)



Имајући у виду све наведено, као и да је предложени ментор један од најкомпетентнијих за ову ужу научну област у Србији, сматрамо да редовни професор др Владан Карамарковић испуњава све формалне и суштинске услове да буде ментор ове докторске дисертације.

### **1.11 Научна област дисертације**

Предложена докторска дисертација припада ужој научној области: *Енергетика и заштита животне средине.*

### **1.12 Научна област чланова комисије**

**Др Младен Стојиљковић** је редовни професор на Машинском факултету у Нишу и ради у ужој научној области *Термотехника, термоенергетика и процесна техника.*

**Др Александар Јововић** је редовни професор на Машинском факултету у Београду и ради у ужој научној области: *Процесна техника.*

**Др Владан Карамарковић** је редовни професор на Факултету за машинство и грађевинарство у Краљеву и ради у ужој научној области *Енергетика и заштита животне средине.*

**Др Миле Савковић** је редовни професор на Факултету за машинство и грађевинарство у Краљеву и ради у ужој научној области *Механизација и носеће конструкције.*

**Др Раде Карамарковић** је доцент на Факултету за машинство и грађевинарство у Краљеву и ради у ужој научној области *Енергетика и заштита животне средине.*



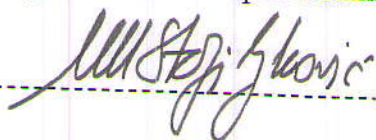
## 2. ЗАКЉУЧАК

На основу наведених чињеница Комисија сматра да кандидат мр Сузана Кнежевић, дипл. маш. инж., испуњава све законске услове за израду докторске дисертације из области техничких наука. Комисија, такође сматра да је предложена тема докторске дисертације „**ЕКСЕРГИЈСКА ОПТИМИЗАЦИЈА РАДА ПЕЊИ ЗА ПРОИЗВОДЊУ СТАКЛЕНИХ ВЛАКАНА**“ научно оправдана и да ће садржати нове резултате од интереса за теорију и примену. За ментора дисертације Комисија предлаже др Владана Карамарковића, редовног професора Факултету за машинство и грађевинарство у Краљеву.

Краљево 04.03.2015. год.

### КОМИСИЈА:

**др Младен Стоиљковић, редовни професор**  
Машински факултет Универзитета у Нишу  
Научна област: Термотехника, термоенергетика и процесна техника



**др Александар Јововић, редовни професор**  
Машински факултет Универзитета у Београду  
Научна област: Процесна техника



**др Миле Савковић, редовни професор**  
Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву Универзитета у Крагујевцу  
Научна област: Механизација и носеће конструкције



**др Раде Карамарковић, доцент**  
Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву Универзитета у Крагујевцу  
Научна област: Топлотна техника и заштита животне средине



**др Владан Карамарковић, редовни професор - ментор**  
Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву Универзитета у Крагујевцу  
Научна област: Топлотна техника и заштита животне средине

