

УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ

ФАКУЛТЕТ ЗА МАШИНСТВО И ГРАЂЕВИНАРСТВО У КРАЉЕВУ

КРАЉЕВО

Факултет за машинство и грађевинарство
у Краљеву

Универзитета у Крагујевцу,

Број: 1084

Датум: 09.09.2013. год.

Краљево, Доситејева 19.

НАСТАВНО НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: **Извештај Комисије о прегледу и оцени докторске дисертације кандидата мр Миљана Марашевића, дипл. инж. маш.**

Одлуком Наставно научног већа Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву, бр. 884/1 од 09. 07. 2013. год. именовани смо за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације кандидата **мр Миљана Марашевића, дипл. инж. маш.**, под називом «**Ексергијска оптимизација рада ротационе пећи за калцинацију доломита**».

На основу прегледа докторске дисертације Наставно-научном већу подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Значај и допринос докторске дисертације са становишта актуелног стања у области истраживања

Повећана потрошња енергије, ограничене залихе фосилних горива и све строжији захтеви заштите животне средине намећу нови приступ газдовању енергијом. Постојећи услови довели су до све већег развоја и примене нових технологија које су донедавно сматране економски и технички неоправданим. С друге стране, намеће се потреба за повећањем енергетске ефикасности постојећих енергетских процеса.

Значајне уштеде енергије могу се остварити коришћењем отпадне топлоте коју у околину као своју физичку топлоту односе димни гасови настали у неком хемијском или процесу сагоревања горива, као и отпадна топлота која се губи услед спољашњег расхлађивања различитих индустријских постројења. Губитак услед спољашњег расхлађивања у појединим случајевима, зависно од постројења, може бити са веома великим учешћем у топлотном билансу (и до 30%).

Истраживања у оквиру овог докторског рада обавила су се у два дела. У првом делу извршено је моделирање и одређивање оптималног облика унутрашње површине конвективно зрачног рекуператора топлоте за различите степене обогаћења ваздуха кисеоником. Резултати анализе и модел за димензионисање геометрије рекуператора су верификовани на експерименталном постројењу. У другом делу докторског рада извршена је енергијска и ексергијска анализа система за коришћење отпадне топлоте ротационе пећи за калцинацију доломита.

2. Оцена оригиналности научног рада кандидата

У току израде рада кандидат је унапредио модел и израдио оригинални програм (у програмском пакету „Matlab“) за прорачунавање димензија рекуператора и температуре на унутрашњој и спољашњој површини рекуператора. Програм је у могућности да плашт пећи дели на једнаке и краће сегменте тако да је могуће добити криву промене пречника рекуператора. Тиме је унапређен прорачун који се до сада користио. Коришћење развијеног програма није ограничено само на испитивану ротациону пећ, већ се може користити за било коју ротациону цилиндричну површину (пећ, пиролизатор...). Поред наведеног кандидат је у раду извршио и ексергијску анализу рада ротационе пећи са и без рекуператора када се за сагоревање користи ваздух обогаћен кисеоником. У дискусији кандидат је добијене резултате, где год је било могуће поредио са резултатима из релевантне литературе. Резултати су представљени и објављени у научном раду категорије M21¹.

У раду је извршена ексергијска анализа могућности коришћења отпадне топлоте продуката сагоревања у случајевима када се не користи односно када се користи рекуператор топлоте.

На основу напред реченог Комисија констатује да дисертација представља оригиналан научни рад кандидата.

3. Преглед остварених резултата рада кандидата у оквиру докторске дисертације

Докторска дисертација кандидата мр **Миљана Марашевића**, дипл. инж. маш., под називом « **Ексергијска оптимизација рада ротационе пећи за калцинацију доломита** » написана је на 151 страна. Цитирана литература, наведена је у 81 библиографској јединици.

¹Vladan 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

Резултати објављених истраживања, везаних за циљ рада који су били:

- интензификација рада ротационе пећи за калцинацију доломита коришћењем постојећих сировинских, енергетских и технолошких ресурса,
- израда и експериментална валидација модела за одређивање оптималног облика унутрашње континуалне површине рекуперативног размењивача топлоте и
- одређивање ексергијски оптималног система за коришћење отпадних топлота ротационе пећи за калцинацију доломита.

Докторски рад приказан је у пет поглавља:

Уводне напомене, циљеви дисертације.

1. Стање и потенцијали за побољшање енергетске ефикасности у индустрији.
2. Индустријске пећи и процес калцинације доломита са обогаћивањем ваздуха за сагоревање кисеоником.
3. Модел за одређивање оптималног облика унутрашње површине рекуперативног размењивача топлоте.
4. Ексергија и ексергијска анализа.
5. Одређивање ексергијски оптималног система за коришћење отпадних топлота ротационе пећи за калцинацију доломита.

Закључак

Номенклатура

Грчка слова

Индекси

Списак слика

Списак табела

Литература

Додатак

У првом поглављу рада представљена је потрошња примарне и финалне енергије по секторима за две референтне године сходно усвојеној стратегији развоја ресорног министарства Републике Србије. Такође су дати и упоредни подаци о потрошњи енергије по секторима индустрије, према расположивим подацима Републичког завода за статистику. Приказане су могућности и потенцијали за побољшање енергетске ефикасности у индустрији према усвојеној стратегији развоја.

У другом поглављу дат је кратак историјат развоја ротационих пећи са принципом рада и поделом ротационих пећи на основу поступка производње (мокри и суви поступак). Дати су технички аспекти увођења кисеоника у ротационе пећи, као и начини обогаћивања ваздуха кисеоником (еквивалентно и додатно обогаћење). Приказани су начини добијања односно издвајања кисеоника са приказом предности и мана сваког поступка. На крају овог дела рада дати су начини увођења кисеоника у ротациону пећ.

У трећем поглављу рада кандидат је приказао поступак добијања магнезита, описан је поступак рада испитиване ротационе пећи, приказана су мерна места и добијени резултати испитивања. Представљени су начини коришћења отпадне топлоте са плашта ротационих пећи примењени у радовима из ове области. Дат је математички модел за одређивање оптималног облика унутрашње површине рекуператора. На основу добијених резултата према извршеним мерењима одређен је степености облик унутрашње површине рекуператора. Валидација математичког модела рекуператора је извршена на ротационој сушари. У оквиру овог поглавља извршена је и техноекономска анализа пројектованог рекуператора. На основу експериментално одређених температура на плашту ротационе пећи, развијен је математички модел у програмском пакету „Matlab” на основу којег се одређују унутрашње димензије рекуператора, температуре на унутрашњој површини рекуператора и температура загрејаног ваздуха. Помоћу развијеног модела извршено је одређивање димензија рекуператора и температурских поља за случај сагоревања са ваздухом обогаћеним кисеоником. Развијени математички модел омогућава одређивање оптималних димензија рекуператора и температура на унутрашњим површинама. Резултати модела су и експериментално верификовани на полуиндустријској ротационој сушари.

У четвртном делу рада кандидат је извршио ексергијску анализу система за рекуперацију топлоте дефинисаног у претходном делу. Извршена је ексергијска анализа када ротациона пећ ради са и без рекуператора за коришћење отпадне топлоте са њеног плашта, као и када се за сагоревање користи ваздух обогаћен са кисеоником. Дана је упоредна анализа промене ексергијског степена корисности у зависности садржаја кисеоника у ваздуху за сагоревање.

У петом поглављу предложени су за испитивану пећ могући системи за коришћење отпадних топлота. Разматрани су случајеви загревања ваздуха за сагоревање топлотом садржаном у продуктима сагоревања, загревање воде и анализиран случај када се отпадна топлота продуката сагоревања користи за добијање електричне енергије помоћу ОРЦ-а². Систем за производњу електричне енергије анализиран је у раду са системом за рекуперацију топлоте са плашта пећи. За предложене системе извршена је ексергијска анализа на основу које је одређен ексергијски оптимални систем за коришћење отпадних топлота ротационе пећи за калцинацију доломита.

² ОРЦ је скраћеница за органски Ранкин-Клаузијусов кружни процес.

4. Оцена испуњености обима и квалитета докторске дисертације у односу на пријављену тему

У раду су у потпуности остварени очекивани резултати дати у Извештају комисије за оцену подобности теме и кандидата докторске дисертације број 815 од 29.08.2011. године и испоштован оквирни садржај рада дат у поменутом извештају. Ови резултати помињани су у претходном поглављу и делом се дају у наредном.

5. Научни резултати докторске дисертације

Да би се смањило губитак топлоте, у зони калцинације користи се размењивач топлоте који формира струјни простор прстенастог облика између плашта пећи и унутрашње површине размењивача. Предложено решење је: брзо применљиво, изузетно је профитабилно (прост период отплате је мањи од 6 месеци), омогућава искоришћење конвективних и зрачних губитака топлоте са плашта пећи, спречава прегревање пећи, не нарушава њене технолошке параметре рада, не захтева повишени притисак ваздуха и може се применити на различитим врстама ротационих пећи са сличним површинским расподелама температура. Коришћењем овог решења мире се два супротна пројектна захтева: један је изолација ротационе пећи, а други спречавање њеног прегревавања у зони сагоревања горива (зона калцинације). Предложено решење би се применило у зони са највишим температурама плашта, где се год постојеће пећи ради осигурања од прегревања користи систем дуваљки. Остатак пећи, где се материјал загрева хлађењем гасовитих продуката који напуштају зону калцинације, може се додатно изоловати са спољне стране.

Представљени математички модел омогућава да се добије геометрија рекуператора топлоте тако да се од пећи одузима само она количина топлоте која би се предала околина када би ротациона пећ била без рекуператора. Природно, за повећање ексергијске ефикасности струјање ваздуха у рекуператору и његова геометрија треба да се подесе тако да се добије супротносмерни ефекат струјања са што је могуће мањим температурским разликама између температура плашта и ваздуха који се предгрева. Осим поменутог још је неопходно и да се сагоревање горива у пећи врши са што је могуће нижим коефицијентом вишка ваздуха.

У раду је на основу представљеног математичког модела размене топлоте у рекуператору развијен програмски пакет у програму „МАТЛАБ“ који омогућава одређивање геометријских параметара размењивача и температуре у систему за различите ротационе пећи. За његово коришћење потребно је знати расподелу температура на плашту ротационе пећи, њене димензије и услове околине (отворен, затворен, заклоњен положај) у којој је пећ постављена.

На основу поменутог програма димензионисани су рекуператори континуалне геометрије за случајеве када се за сагоревање у ротационој пећи користи ваздух обогаћен кисеоником. Резултати су показали да се рекуператор на

испитиваној пећи не може применити уколико се за сагоревање у њој користи ваздух обогаћен са више од 24% кисеоника (гранична вредност).

Обогаћивање ваздуха за сагоревање кисеоником праћено је благим повећањем енергетских и ексергијских степена корисности пећи са и без рекуператора топлоте. Само коришћење обогаћеног ваздуха има низ позитивних и негативних страна које су детаљније поменуте у другом поглављу рада.

Како ће се користити отпадна топлота димних гасова у многоме зависи од осталих енергетских потреба компаније која користи дату ротациону пећ. Сигурно да је најјефтиније отпадну физичку топлоту коју садрже димни гасови и која износи 1MW користити за загревање воде у систему даљинског грејања. Ова количина топле воде није потребна током целе године па јој систем за загревање ваздуха за сагоревање, и ако мање ефикасан, може економски парирати. Ексергијски гледано од оба поменута система за коришћење отпадне топлоте гасовитих продуката из ротационе пећи боље је користити когенерационо постројење. Оно производи електричну енергију која је најквалитетнији облик енергије и на тај начин компанији штеди огроман трошак за електричну енергију. Осим поменутих користи, когенративно постројење има и еколошких предности када знамо да се готово 70% електричне енергије у Републици Србији производи у термоелектранама.

6. Примењивост и корисност резултата у теорији и пракси

Развијени математички модел омогућава пројектовање рекуператора топлоте за коришћење отпадне топлоте са плашта ротационих пећи, различитих геометријских карактеристика.

Спроведена ексергијска анализа за случајеве када се за сагоревање користи ваздух обогаћен кисеоником може се користити за ротационе површине сличних геометријских и термодинамичких³ карактеристика.

Представљени карактеристични случајеви коришћења отпадне топлоте продуката сагоревања ротационе пећи са и без рекуператора и њихова ексергијска анализа дају могућности за избор конкретног решења у датим случајевима.

7. Начин презентирања резултата научној јавности

Модели дати у трећем поглављу рада и четврто поглавље рада које се бави ексергијском анализом објављени у раду **категорије M21**:

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



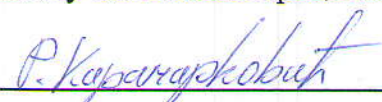

³ Под термодинамичким карактеристикама мисли се на сличност температурских поља.

8. Закључак и предлог комисије

На основу извршене анализе докторске дисертације Комисија је утврдила да је она у потпуности реализована сагласно плану истраживања.

Резултати истраживања су методолошки јасно презентирани а њихова анализа дата је на научном нивоу. Оригинални математички модел, као и ексергијска анализа публиковани су у једном М21 раду 2013. године.

На основу свега реченог Комисија позитивно оцењује урађену докторску дисертацију и предлаже Наставно научном већу Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву да прихвати Извештај о прегледу и оцени докторске дисертације кандидата **мр Миљана Марашевића, дипл. инж. маш.**, под називом « **Ексергијска оптимизација рада ротационе пећи за калцинацију доломита** ».

1. 
др **Младен Стојиљковић**, редовни професор,
Машински факултет Ниш.
Ужа научна област: Термотехника,
термоенергетика и процесна техника, председник
2. 
др **Александар Јововић**, редовни професор
Машински факултет Београд.
Ужа научна област: Процесна техника, члан
3. 
др **Раде Карамарковић**, доцент
Факултет за машинство и грађевинарство у
Краљеву.
Ужа научна област: Топлотна техника и заштита
животне средине, члан
4. 
др **Владан Карамарковић**, редовни професор
Факултет за машинство и грађевинарство у
Краљеву.
Ужа научна област: Топлотна техника и заштита
животне средине, ментор

У Краљеву,
септембра 2013.год.