

## **НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ**

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Стијеповић Владимира, дипл. инж. технологије.

Одлуком бр. 35/120 од 26.05.2014. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Стијеповић Владимира под насловом

**“Нова метода за енергетску интеграцију процесних постројења у индустријским комплексима“.**

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

### **РЕФЕРАТ**

#### **1. УВОД**

##### 1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

- 30.05.2013. на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду донета је одлука (бр. 35/177 од 7.06.2013.) о именовању чланова Комисије за оцену подобности теме кандидата Владимира Стијеповића, мастер дипл. инж. под насловом “Нова метода за енергетску интеграцију процесних постројења у индустријским комплексима“.
- 27.06.2013. на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду донета је одлука о прихватању теме докторске дисертације под насловом “Нова метода за енергетску интеграцију процесних постројења у индустријским комплексима“, а за ментора је именована др Мирјана Кијевчанин, Ред. Проф. ТМФ. Одлука бр. 35/97 од 28.06.2013.
- 8.07.2013. Веће научних области техничких наука доноси одлуку по којој даје сагласност на предлог теме “Нова метода за енергетску интеграцију процесних постројења у индустријским комплексима“ кандидата Владимира Стијеповића, мастер дипл. инж., Одлука бр. 61206-3391/2-13 од 8.07.2013.
- 22.05.2014. На седници Наставно научног већа Технолошко-металуршког факултета донета је одлука о именовању чланова Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације Владимира Стијеповића, мастер дипл. инж. под насловом “Нова метода за енергетску интеграцију процесних постројења у индустријским комплексима“ Одлука бр. 35/120 од 26.05.2014.

## 1.2. Научна област дисертације

Истражувања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Технолошког инжењерства за коју је Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду матична установа.

Ментор др Мирјана Кијевчанин, ред.проф. ТМФ-а је до сада из ове области публиковала више од 60 радова у часописима који су на СЦИ листи, руководила изработом три одбрањене докторске дисертације, једне магистарске тезе и била члан две комисије одбрањених докторских дисертација. На основу досадашњег искуства, сматрамо да је ментор компетентан да руководи изработом ове дисертације.

## 1.3. Биографски подаци о кандидату

Владимир Стијеповић, дипл. инж. технологије је рођен 21.08.1983. године у Београду где је завршио „XIV Београдску“ гимназију са одличним успехом. Дипломирао је на Технолошко-металуршком факултету у Београду, одсек Хемијско инжењерство, на Катедри за Хемијско инжењерство, са просечном оценом у току студија 8.56. Дипломски рад под називом „Енергетска оптимизација процеса сепарације система металацетат/метанол/вода“ одбранио 25.12.2007. године са оценом десет (10).

Докторске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, студијски програм хемијско инжењерство, уписао је школске 2008/2009.

Од 01.01.2008. године је стипендиста Министарства за науку и технологију, Републике Србије.

## **2. ОПИС ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Владимира Стијеповића, дипл. инж. написана је на српском језику и садржи 167 страна, 47 слика, 22 табеле и 131 литературних навода. Докторска дисертација садржи следећа поглавља: Увод, Теоријски део (Методе за енергетску интеграцију, Термодинамичке методе за пројектовање мреже размењивача топлоте, Математичке методе за енергетску интеграцију процеса, Методе за енергетску интеграцију постројења, Оптимизациони алгоритми), Развој методе за енергетску интеграцију постројења у индустријским комплексима (Дефинисање проблема, Развој методе за енергетску интеграцију), Примена методе на студију случаја (Прикупљање и обрада података, Одређивање потенцијала за уштеду енергије, Успостављање везе између постројења, Одређивање максималног искоришћења отпадне топлоте, Пројектовање мреже за интеграцију индустријског комплекса), Закључак, Литература.

### 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У докторској дисертацији обрађена су следећа поглавља: *Увод, Теоријски део, Развој методе енергетске интеграције, Примена методе на студију случаја, Закључак и Литература.*

У уводном делу дат је предмет, садржај и циљ докторске дисертације. Предмет истраживања ове докторске дисертације је развој нове методе за енергетску интеграцију више независних индустријских постројења у једном индустријском комплексу. Метода је заснована на

термодинамичким законитостима, уз имплементацију критеријума поузданости, могућности контроле и економске одрживости.

Поглавље *Теоријски Део* обухвата анализу досадашњих истраживања у земљи и свету који се односе на следеће;

- Потреба за применом енергетске интеграције.
- Методе за топлотну интеграцију процеса.
- Пројектовање или преуређење мрежа размењивача топлоте у процесима.
- Методе за енергетску интеграцију постојења.
- Методе за пројектовање и оптимизацију рада енергана.
- Нумеричке методе за решавање линеарних оптимizacionих проблема.
- Нумеричке методе за решавање нелинеарних оптимizacionих проблема.

Поглавље *Развој методе енергетске интеграције* обухвата детаљан опис поступка развоја методе за енергетску интеграцију индустријских комплекса. Поступак развоја методе обухвата: дефинисање проблема, математички опис дефинисног проблема, дефинисање функције циља ради одређивања максималне вредности енергетске ефикасности индустријског комплекса и дефинисање функције циља ради одређивања оптималног односа уложених средстава и повећања енергетске ефикасности индустријског процеса.

У делу *дефинисање проблема* приказан је систем који се посматра и његови елементи, као и почетне претпоставке, ограничења и циљеви. Математички опис проблема приказује успостављање математичких релација између елемената система, узимајућу у обзир сложен однос између њих, условљен како природним законима, тако и физичким и економским ограничењима. На основу математичких релација развијених у предходном делу, у трећем делу се успоставља функција циља чија је улога да одреди максималну вредност енергетске ефикасности индустријског комплекса употребом енергетске интеграције. Четврти део приказује увођење економских критеријума у поставку проблема, при чему се успоставља нова функција циља која омогућава да се одреди повећање ефикасности индустријског комплекса употребом енергетске интеграције, што доводи до највеће економске добити.

Поглавље *Примена методе на студију случаја*, детаљно описује примену метода на одређени индустријски комплекс састављен од четири независна постројења. Током примене развијене методе дат је детаљан приказ успостављања оптимizacionог проблема на основу методе развијене у поглављу *Развој методе енергетске интеграције*. Након успостављања оптимizacionог проблема дати су начини за њихово решавање. Резултати добијени решавањем оптимizacionих проблема су даље анализирани у циљу разматрања узрока умањене енергетске ефикасности индустријског комплекса без спроведене интеграције и могућности за њено повећање.

У *Закључку* су сумирани закључци добијени на основу изведених испитивања. Они укратко потврђују економску оправданост примењене методе и указују на могућност даљег унапређења.

У делу *Литература* наведене су референце цитиране у дисертацији.

### **3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ**

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

Индустријска производња на глобалном нивоу из године у годину показује константан раст, условљавајући све већу потражњу за енергентима. Иако се све више замењују обновљивим

енергетским изворима и сировинама, фосилна горива још увек представљају примарни извор топлотне енергије. Такође, фосилна горива се користе за производњу електричне енергије употребом Брајтоновог и/или Ранкиновог циклуса. Висока цена фосилних горива, као и предвиђања њеног раста, последица су ограничених ресурса, који због све веће потражње нестају експоненцијалном брзином. Треба напоменути да је експлоатација све захтевнија и скупља са технолошког аспекта. Са гледишта економске анализе, висока цена фосилних горива одражава се на повећање цене крајњег производа, што води ка смањењу конкурентности економија које немају сопствене изворе већ зависе од увоза. Поред очигледног економског утицаја, пораст потрошње фосилних горива доводи до све веће емисије димних гасова који на локалном нивоу утичу на животну средину, што се најбоље огледа кроз квалитет ваздуха. Пораст потрошње фосилних горива има утицај и на глобалном нивоу тако што повећава атмосферску концентрацију гасова, који доводе до појаве ефекта стаклене баште. У циљу смањења емисије гасовитих супстанци које стварају ефекат стаклене баште, Уједињене Нације покренуле су иницијативу предлагањем оквирне конвенције о климатским променама, познатијом као Кјото протокол. Кроз механизме дефинисане у протоколу земље потписнице се обавезују на смањење емисија гасова. Републике Србија је прихватила Кјото протокол 2007. године. Поред Кјото протокола, земље Европске уније усвојиле су и акт о енергетско-климатским правцима који је предложила европска комисија 2007. године. Наведеним актом се предвиђа смањење укупне потрошње енергије за 20% у односу на предвиђања за 2020. годину, пораст удела био-горива у укупној потрошњи горива на 20%, и смањење емисије димних гасова за 20% у односу на ниво емисија 1990. године. Наведени акт предвиђа и увођење таксе на емисију угљен-доксида. На основу предходних разматрања може се констатовати да ће ефикасније коришћење енергије имати све већи економски утицај на привредне субјекте. Начин на који ће се привредни субјекти прилагодити регулативама везаним за климатске промене у великој мери ће утицати на одрживост, а самим тим и на профитабилност њихове производње .

Постоје два смера за унапређење енергетске ефикасности индустријских постројења: а) смањење потрошње енергената у самом производном процесу, и б) енергетска интеграција индустријских постројења. Смањења потрошње енергената у процесу захтева развој и увођење нових енергетски мање захтевних технологија. Енергетска интеграција индустријских постројења захтева формирање међусобних веза које би омогућиле размену енергије. Успостављене овакве врсте веза захтева методолошки приступ, с обзиром на велики број ограничења, како физичких тако и економских, који се намећу у оваквим сложеним системима.

Топлотна интеграција појединачних процеса се већ неколико деценија успешно примењује за повећање енергетске ефикасности. Данас се сматра стандардном техником при пројектовању нових и преуређивању постојећих мрежа размењивача топлоте. Из метода топлотне интеграције процеса, развијена је техника која омогућава енергетску интеграцију на нивоу више процеса међусобно повезаних преко заједничког система помоћних медијума (енергана). Ова техника омогућава да се за дати систем процеса одреди оптимална конфигурација система помоћних медијума која би омогућила најефикасније искоришћење енергије добијене сагоревањем фосилних горива.

Садашњи ниво индустријског развоја захтева методе које би омогућиле енергетску интеграцију више независних постројења који се налазе у оквиру индустријског комплекса. Успостављање енергетске интеграције на овом нивоу додатно би повећало енергетску ефикасност постројења, а самим тим би дошло и до смањења потрошње фосилних горива и мање емисије димних гасова.

Циљ истраживања ове докторске дисертације је развој нове метода за енергетску интеграцију више независних индустријских постројења у једном индустријском комплексу. Метода је заснована на термодинамичким законитостима, уз имплементацију критеријума поузданости, могућности контроле и економске одрживости.

У оквиру ове дисертације, према литературном прегледу, први пут је развијена метода за енергетску интеграцију индустријског комплекса. Резултати ових истраживања су показали могућност значајног смањења коришћења енергије у индустријском комплексу, а самим тим и економску уштеду. Мониторингом уштеде енергије примењеном методом на вишегодишњем нивоу могуће је показати велики значај и квалитет примењених модела интеграције.

### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У докторској дисертацији је цитирано 131 литературних навода која се односе на истраживања везана за проблематику енергетске интеграције. Литературни преглед је обухватио велики број публикованих научних радова из области: енергетска интеграција процеса, енергетска интеграција постројења, модели за и против потисне и кондензујуће турбине и метода за решавање оптимизационих проблема. Велики значај литературних навода је да је преко 50% савремених и актуелних тема из реномираних међународних часописа. Пет литературних навода је преузето из књига публикованих од стране реномираних светских издавача у овој области. Два аутоцитата из водећих међународних часописа, публикованих током израде ове дисертације, говоре у прилог актуелности теме и успешности примене методе енергетске интеграције.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Метода енергетске интеграције математички је формулисана као оптимизациони проблем. У зависности од дефинисане функције циља и примењених критеријума, метода је математички дефинисана као линеарни или нелинеарни оптимизациони проблем. Променљиве у линеарном или нелинеарном оптимизационом проблему састоје се из скупа бинарних и скупа реалних променљивих. Комбинација бинарних и реалних променљивих захтева употребу нумеричке методе које решавају оптимизационе проблеме са мешовитим типом променљивих. За решавање линеарног оптимизационог проблема коришћена је комбинована нумеричка метода која се састоји из две методе “Branch and Bound“ и “Simplex“. У случају нелинеарног оптимизационог проблема употребљена је комбинована нумеричка метода која се састоји из “Branch and Bound“ методе и “Sequential Quadratic Programming“ или “Genetic Algorithm“.

### 3.4. Применљивост остварених резултата

Дата метода омогућава значајне уштеде енергије у индустријском комплексу, како при максимизовању снаге на турбинама у оквиру индустријског комплекса, тако и при минимизовању потрошње горива у котловима. Добијени резултати који су приказани у докторској дисертацији показују уштеде, како са енергетског, тако и са економског аспекта. Развијена метода може наћи примену у индустријским комплексима у којима постоји жеља и потреба да се повећа енергетска ефикасност. Период повраћаја инвестиција је релативно кратак, тако да развијена метода пружа повољну могућност за примену.

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

У току израде докторске дисертације, кандидат је потпуно оспособљен да самостално и критички направи литературни преглед, поставку проблема, примену одговарајућих нумеричких метода, да анализира добијене резултате, као и да извуче неопходне закључке. Током израде дисертације кандидат је овладао бројним савременим техникама које се користе за енергетску интеграцију, унапредио је развијање математичких модела и њихову примену на реални проблем и савладао је коришћење алата у карактеристичним

програмским пакетима. Кандидат поседује све квалитете неопходне за научно-истраживачки рад и самосталну презентацију добијених резултата.

## 4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

Резултати добијени у овој докторској дисертацији дају значајан допринос разумевању утицаја енергетске интеграције у индустријским комплексима.

Научни допринос резултата истраживања остварених у оквиру ове докторске дисертације могао би се приказати као:

- Опис индустријског комплекса у форми математичког модела.
- Увођење ригорозне методе за енергетску анализу индустријских комплекса.
- Систематска оптимизација свих оперативних параметара употребом нумеричких метода.
- Систематско одређивање могућих енергетских веза између постројења у индустријском комплексу.
- Повећање енергетске ефикасности индустријског комплекса.
- Смањење потребе за фосилним горивима.
- Заштита животне средине на локалном и глобалном нивоу.
- Одређивање горње границе енергетске ефикасности.
- Развој индустријског комплекса одређивањем адекватних локација нових постројења.

### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Предмет ове докторске дисертације обухвата истраживања у области енергетске интеграције. Претстављен је карактеристичан начин односно метода за енергетску интеграцију индустријских комплекса. Применом развијене методе може се добити енергетска уштеда при максимизовању производње снаге на турбинама и минимизовању потрошње горива у котлу. Приказана метода представља проширење и побољшање досадашњих метода енергетске интеграције постројења. Добијени резултати омогућавају значајно подизање енергетске ефикасности индустријских комплекса на виши ниво.

### 4.3. Верификација научних доприноса

Из докторске дисертације су до сада публикована три научна рада од којих два у врхунским међународним часописима М21 (са импакт факторима 3,651 и 3.548) и један рад у часопису националног значаја М52.

Радови у врхунским међународним часописима (М21):

1. Stijepović V., Linke P., Stijepović M., Kijevčanin M., Šerbanovic S., Targeting and design of industrial zone waste heat reuse for combined heat and power generation, Energy, 2012, 47, 302-313 (IF (2012) = 3.651; ISSN: 0360-5442).
2. Stijepović V., Linke P., Alnouri S., Kijevčanin M., Grujić A., Stijepović M., Toward enhanced hydrogen production in catalytic naphta reforming process, International Journal of Hydrogen Energy, 37, 2012, 11772-11784 (IF (2012) = 3.548; ISSN: 0360-3199)

Рад у часопису националног значаја (М 52)

1. Stijepović V., Stijepović M., Stajić-Trošić J., Stevanović J.,

## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу свега наведеног Комисија сматра да докторска дисертација кандидата Владимира Стијеповића, дипл. инж. технологије, под називом „**Нова метода за енергетску интеграцију процесних постојења у индустријским комплексима**“ представља значајан и оригиналан научни допринос у области хемијског инжењерства, што је и потврђено кроз објављивање радова у часописима међународног значаја. Сви предмети и циљеви који су постављени су јасно наведени и у потпуности остварени. Комисија је мишљења да докторска дисертација под називом „**Нова метода за енергетску интеграцију процесних постојења у индустријским комплексима**“ у потпуности испуњава све захтеване критеријуме као и да је кандидат током израде дисертације показао научно истраживачку способност у свим фазама ове дисертације.

Имајући у виду квалитет, обим и научни допринос постигнутих и приказаних резултата, Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факулета, Универзитета у Београду, да прихвати овај Реферат, пружи на увид јавности поднету докторску дисертацију кандидата Владимира Стијеповића, дипл. инж. технологије у законом предвиђеном року, као и да, Реферат упути Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду и да након завршетка процедуре позове кандидата на усмену одбрану дисертације пред Комисијом у истом саставу.

У Београду, 11.06.2014.

### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....  
др Мирјана Кијевчанин, редовни професор  
Универзитет у Београду, Технолошко-Металуршки факултет

.....  
др Слободан Шербановић, редовни професор  
Универзитет у Београду, Технолошко-Металуршки факултет

.....  
др Александар Грујић  
Виши научни сарадник, Институт за хемију, технологију и металургију