

## **НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ**

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње **Бојане Вукадиновић**, дипл. инж. технологије.

Одлуком бр. 35/202 од 1.6.2017. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње **Бојане Вукадиновић**, дипл. инж. технологије под насловом:

**„Нови модели за унапређење енергетске ефикасности у полимерној и сродним индустријама“.**

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

### **РЕФЕРАТ**

#### **1. УВОД**

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

У октобру 2007. кандидаткиња Бојана Вукадиновић, дипл. инж. технологије, је уписала докторске студије на Технолошко-металуршком факултету на смеру Инжењерство материјала.

На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета донета је Одлука (35/375) о продужењу рока за завршетак студија за два семестра школске 2013/2014. године.

12.5.2014. кандидаткиња Бојана Вукадиновић, дипл. инж. технологије пријавила је тему докторске дисертације под називом „Развој метода за унапређење енергетске ефикасности у полимерној и сродним индустријама“. Наставно-научно веће Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду је дана 22.05.2014. године (одлука бр. 35/116), усвојило састав Комисије за оцену научне заснованости предложене теме.

12.9.2014. на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета, на основу извештаја Комисије, донета је Одлука (35/203) о прихватању предлога теме докторске дисертације, Бојане Вукадиновић, дипл. инж. технологије, под називом „Нови модели за унапређење енергетске ефикасности у полимерној и сродним индустријама“. За ментора ове докторске дисертације именоване су др Иванка Поповић, редовни професор ТМФ и др Мирјана Кијевчанин, редовни професор ТМФ.

На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета донета је Одлука (35/262) о продужењу рока за завршетак студија за два семестра школске 2014/2015. године.

20.10.2014. На седници Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду дата је сагласност на предлог теме докторске дисертације Бојане Вукадиновић, дипл. инж. технологије, под називом „Нови модели за унапређење енергетске ефикасности у полимерној и сродним индустријама“.

Решењем 05-10/14 студенту је одобрено мировање права и обавеза у школској 2014/2015. години због одржавања трудноће.

Решењем 20/10 студенту је одобрено мировање права и обавеза у школској 2015/2016. години због неге детета до годину дана.

1.6.2017. На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета, донета је одлука (35/202) о именовању чланова комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације, Бојане Вукадиновић под називом „Нови модели за унапређење енергетске ефикасности у полимерној и сродним индустријама“.

## 1.2. Научна област дисертације

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Технолошко инжењерство, ужа научна област Инжењерство материјала, за коју је Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду матична установа.

За ментора ове докторске дисертације именоване су др Иванка Поповић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду, и др Мирјана Кијевчанин, редовни професор Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду, које су на основу објављених публикација и искуства компетентне да руководе израдом ове докторске дисертације.

## 1.3. Биографски подаци о кандидату

Бојана Вукадиновић је рођена 24.12.1980. године у Нишу, Република Србија, где је завршила основну школу и гимназију. Технолошко – металуршки факултет у Београду је уписала 1999. године, катедра за Органску хемијску технологију и полимерно инжењерство. Титулу дипломираног инжењера технологије стиче 2006. године, успешном одбраном дипломског рада под менторством професора др. Иванке Поповић. Постдипломске студије је наставила уписом докторских студија 2007. године на Технолошко – металуршком факултету у Београду.

Од 2008. године Бојана Вукадиновић је запослена у Центру за чистију производњу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду. Тренутно је на позицији руководиоца одсека за чистију производњу и била је ангажована на бројним пројектима сировинске и енергетске ефикасности и заштите животне средине у Србији и региону, као руководиоца пројекта или као експерт. Радила је са преко 100 компанија различитих величина и делатности на увођењу принципа чистије производње и учествовала у обуци 60 националних експерата. Такође је руководила пројектом чији је циљ био пружање помоћи оператерима и надлежним органима у области интегрисаног спречавања и контроле загађења. Пре Центра за чистију производњу, радила је у Министарству заштите животне средине, у Одељењу за управљање отпадом, у 2007. години.

Такође је председник удружења ЈИСА (*Japan International Cooperation Agency*) Алумни Србија и коаутор едукативних програма о рециклажи и заштити животне средине за ученике основних и средњих школа у оквиру Српског хемијског друштва. Учествовала је и у изради приручника у области интегрисаног спречавања и контроле загађења и енергетске ефикасности.

Бојана Вукадиновић говори и служи се енглеским језиком. Сертификовани је УНИДО експерт за чистију производњу, а такође је завршила обуке о чистијој производњи у Јапану 2008. и Израелу 2013. године, као и обуку о управљању отпадом у САД 2009. године.

## 2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидаткиње, **Бојане Вукадиновић**, дипл. инж. технологије, написана је на 125 страна, укључује 18 табела, 39 слика, као и 101 литературни навод. Докторска дисертација садржи седам поглавља: Увод, Концепт чистије производње и енергетске ефикасности, Примена методологије чистије производње у полимерној индустрији и енергетском сектору у Републици Србији, Анализа примењених опција сировинске и енергетске ефикасности, Резултати и дискусија резултата – утицај на животну средину, Закључак и Литература.

Докторска дисертација садржи и изводе на српском и енглеском језику.

### 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У оквиру ове дисертације проучаване су постојеће методе, и дат је предлог нових методологија сировински ефикасне и чистије производње. Такође, приказана је и њихова примена у полимерној индустрији и енергетском сектору. Предложени су нови модели у циљу ефикасније анализе процеса и дефинисања мера сировинске и енергетске ефикасности са посебним акцентом на анализу утицаја мера на животну средину.

Уводно поглавље представља приказ анализираних проблематике ове докторске дисертације. На почетку уводног поглавља дат је осврт на важност концепта чистије производње и енергетске ефикасности, анализиран тренд потрошње различитих облика енергије у Србији и у свету, као и детаљно сагледан потенцијал за примену мера енергетске ефикасности у индустрији. У другом делу овог поглавља дат је приказ претходних истраживања из теме дисертације, како оних која се односе на истраживање енергетске ефикасности у хемијској и петрохемијској индустрији, тако и истраживања у области сировински ефикасне и чистије производње и примене ове методологије у енергетском сектору и полимерној индустрији. У овом поглављу дефинисани су и циљеви докторске дисертације.

У другом поглављу, *Концепт чистије производње и енергетске ефикасности*, описан је значај концепта енергетске ефикасности и развој методологије чистије производње као ширег приступа – од контроле загађења и третмана отпада на крају производног процеса, преко развоја методологије чистије производње и методологије сировински ефикасне и чистије производње. Такође су дефинисани основни принципи ове методологије, као што су израда биланса, одређивање индикатора и анализа проблема и дефинисање опција. У наставку је дат опис уочених недостатака у постојећој методологији и наведени разлози за предлог и развој нове методологије прилагођене специфичним потребама индустријских постројења. Описан је начин приказивања утицаја производње на животну средину као раздвајање производног раста у односу на потрошњу ресурса и загађење животне средине.

Могућности примене сировински ефикасне и чистије производње у енергетском сектору и индустрији полимера су анализирани у трећем поглављу (*Примена методологије чистије производње у полимерној индустрији и енергетском сектору у Републици Србији*). Материјални и енергетски биланс и примена опција чистије производње су анализирани на примеру Термоелектрана ЈП Електропривреда Србије. За четири термоелектране су приказани индикатори учинка како би се утврдило стање сваког појединачног блока и омогућило поређење ефикасности између блокова, како у оквиру исте термоелектране, као и између термоелектрана. С друге стране, могућности имплементације нове методологије оптимизацијом процеса су испитиване на примеру ХИП Петрохемије. У овом поглављу је

дат кратак opis процеса у компанији, као и области са највећим потенцијалом за побољшања. На примеру фабрике за производњу полипропилена Хипол испитиван је утицај опције која се односи на замену технологије, односно утицај увођења новог каталитичког система на животну средину.

У четвртом поглављу, *Анализа примењених опција сировинске и енергетске ефикасности*, описане су примењене мере чистије производње и резултати појединих мера. За детаљнију анализу и опис резултата примењених мера изабрана је термоелектрана ТЕНТ А. Дат је детаљан приказ анализираних мера, као што је унапређење ефикасности и повећање снаге два термоенергетска блока, поједине мере за смањење потрошње воде и енергије, проблем одлагања пепела, хомогенизација угља итд. У случају анализе стања и примењених опција у ХИП Петрохемија, описан је низ мера за унапређење енергетске ефикасности, али и мере које се односе на смањење емисија у ваздух и смањење настајања опасног отпада. Посебан акценат је стављен на оптимизацију рада постројења енергетском интеграцијом целокупног система. У случају анализе производње полипропилена, приказане су промене у односу на изворну технологију и коришћење катализатора прве и друге генерације. Такође су приказани резултати испитивања за изабрани високоактивни катализатор.

У петом поглављу, *Резултати и дискусија резултата – утицај на животну средину*, приказани су резултати примењених опција у виду утицаја на животну средину. Описани су нови индикатори еко-ефикасности који су израчунати за различите категорије утицаја - потрошња сировина, потрошња енергије, настајање отпада, климатске промене, ацидификација, настајање фотохемијског смога. Вредности индикатора за различите категорије су приказани преко табела и одговарајућих дијаграма. Такође је урађено поређење ових индикатора са производним растом, како би се приказало релативно или апсолутно раздвајање раста производње у односу на потрошњу ресурса и утицај на животну средину.

У поглављу *Закључак* сумирани су најзначајнији резултати проистекли из ове докторске дисертације.

На крају дисертације у поглављу *Литература* наведене су све референце цитиране у докторској дисертацији.

### **3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ**

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

Савремени тренд у индустријским системима је увођење све оштријих захтева за смањење/оптимизацију потрошње енергије и заштите животне средине, пре свега успостављањем обавеза за увођењем нових технологија, као и свеобухватног приступа питањима заштите животне средине.

Увођење концепта чистије производње је један од начина примене различитих метода које имају за циљ унапређење стања животне средине кроз смањење потрошње сировина и енергије и минимизације емисија и настајања отпада. Код производних процеса, чистија производња се односи на очување сировина, воде и енергије, смањење примене токсичних и опасних сировина и смањење количина и токсичности свих емисија и отпада на извору производног процеса. У оквиру ове докторске тезе су разматране постојеће методе за смањење потрошње енергије у полимерној индустрији, али и развој нових метода, кроз увођење технолошких иновација, на пр. увођење нових катализатора, оптимизацију енергетског система и примену нових решења за праћење и унапређење енергетске ефикасности.

Испитивања су обухватала домаћу полимерну индустрију, односно процесне системе полимерне индустрије (синтезу полимера и прераду полимера, што су енергетски веома интензивни процеси). Да би се испитао цео енергетски биланс ових система, у анализу су

укључени интерни системи за производњу енергије, али и екстерни системи који служе са снабдевање енергијом, пре свега термоенергетска постројења у оквиру Електропривреде Србије, као базне индустрије.

Подаци сакупљени у појединим компанијама, које се баве синтезом и прерадом полимера, а добијених на основу планираних индустријских експеримената били су основ за развој метода за унапређење енергетске ефикасности.

Предмет научног истраживања је и успостављање нових модела за унапређење сировинске и енергетске ефикасности у полимерној индустрији која спада у групу великих потрошача топлотне и електричне енергије.

Савременост и оригиналност истраживања приказаних у овој докторској дисертацији потврђени су и публиковањем радова из тезе у међународним часописима и саопштењима на скуповима од међународног значаја.

### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Током израде докторске дисертације кандидаткиња је извршила преглед научне и стручне литературе из релевантних научних области везаних за проблематику докторске тезе. Цитирани литературни радови су омогућили да се представи стање у испитиваној научној области. Највећи део прегледане научне литературе састојао се од научних радова публикованих у водећим међународним часописима од стране еминентних стручњака из области и проблематике предметне докторске тезе. Тиме је кандидаткиња стекла значајан увид у до сада објављене резултате везане за сировински ефикаснију и чистију производњу, као и за енергетску ефикасност производних процеса. Након стицања увида у досадашње објављене резултате, кандидаткиња је извршила одабир адекватних модела и метода на основу којих је извршила моделовање и оптимизацију разматраних индустријских система. Кандидаткиња је верификовала резултате садржане у овој тези публиковањем радова у међународним часописима и саопштењима на скуповима од међународног значаја, чиме је дала свој научни допринос на пољу предметне проблематике.

Коришћене референце у овој докторској дисертацији обухватају области хемијског инжењерства, инжењерства материјала, енергетске анализе, заштите животне средине, итд.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У изради ове дисертације методе истраживања обухватиле су анализу постојећих података и модела за сировинско и енергетско испитивање индустријских система. Најзначајније методе истраживања обухватају: извођење прецизно конципираних индустријских експеримената у циљу утврђивање стања материјалног и енергетског биланса у појединим индустријским постројењима везаним за процесе у полимерној индустрији (Хипол, ХИП Петрохемија) и у енергетском сектору (ЈП Електропривреда Србије), као и утицај промене појединих оперативних услова на оптимално билансирање испитиваних система.

Такође, применом мултикритеријалне методе предложене у овом раду отварају се нове могућности увођења нових процесних сировина и материјала, као и унапређења енергетске ефикасности разматраних индустријских система.

### 3.4. Применљивост остварених резултата

Остварени резултати приказани у овој докторској дисертацији имају вишеструку примену. Примарни допринос и применљивост имају на пољу енергетске ефикасности и заштите животне средине. Смањење потрошње енергије, повећање енергетске ефикасности, оптимизација коришћења ресурса и смањење загађења животне средине од изузетног су

значаја за Републику Србију, нарочито у енергетском сектору, као и у енергетски интензивним индустријама. Такође емисије из ових сектора представљају најзначајније загађујуће материје.

Имајући у виду да су прецизне анализе, као и поуздани модели формулисани коришћењем података добијених из анализе индустријских процеса, а који описују понашање индустријских процесних система веома ретки, ова теза даје могућност даље имплементације добијених резултата на индустријски сектор Републике Србије. Са друге стране, имајући у виду значај који овакви модели имају у оптимизацији рада постројења, и подизању његове енергетске ефикасности, прецизно одређивање параметара процеса, и њихова оптимизација омогућава примену параметара у савременим приступима за моделовање и симулацију процеса.

Значајан допринос и применљивост остварених резултата ове докторске дисертације представља развијена методологија сагледавања стања индустрије, као и свеобухватни приступ анализи различитих индустријских постројења.

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

У току израде докторске дисертације, кандидаткиња је потпуно оспособљена да самостално и критички направи литературни преглед, поставку проблема, примену одговарајућих метода, да анализира добијене резултате, као и да извуче неопходне закључке. Током израде дисертације под називом „Нови модели за унапређење енергетске ефикасности у полимерној и сродним индустријама“, кандидаткиња је исказала стручност и самосталност у свим фазама израде тезе, пружајући допринос у областима примене и унапређења методологије чистије производње и енергетске ефикасности индустријских постројења.

На основу изнетог, Комисија је мишљења да кандидаткиња поседује све квалитете који су неопходни за научно-истраживачки рад и самосталну презентацију добијених резултата.

## **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

Докторска дисертација кандидаткиње Бојане Вукадиновић, дипл. инж. технологије, пружа значајан научни допринос на пољу оптимизације процеса у полимерној индустрији, као и у енергетској анализи и оптимизацији енергетски високо захтевних процеса. Истраживања остварена у оквиру ове докторске дисертације дала су више значајних научних доприноса, при чему се може издвојити следеће:

- Проширена је примене концепта чистије производње у области полимерне индустрије, као и генерално примене код енергетски високо захтевних процеса;
- Успостављена је методологија унапређења индустријских комплекса на основу карактеристике процеса;
- Проширена су сазнања о могућностима унапређења процеса, увођењем катализатора побољшаних карактеристика;
- Развијена је методологија мултикритеријалне анализе коришћењем интегралног приступа сагледавања енергетских потенцијала и захтева анализирани индустрије.
- Побољшане су постојеће и развијене нове методологије за анализу и унапређење енергетске ефикасности;

- Развијен је нови приступ за оцену емисије у животну средину и за процену смањења емисија гасова са ефектом стаклене баште, применом различитих мера чистије производње и енергетске ефикасности;

#### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Примарни допринос предметне докторске дисертације је у успостављање методологије за анализу ефикасности рада различитих индустријских система. Рад се бави потенцијалима за повећање капацитета производње, унапређење ефикасности и смањење специфичне потрошње енергије, уз истовремено смањење емисија у ваздух и воду, и смањење количине створеног отпада у индустријском сектору.

Подаци који су сакупљени и анализирани у току рада термоелектране коришћени су за развој новог општег приступа, коришћењем индикатора еко-ефикасности за постројење, а они су: потрошња енергије, климатске промене, ацидификација и стварање отпада. Предложена метода истиче области за унапређење енергетске ефикасности, а резултати се могу користити као референца за сличне компаније.

С друге стране, предложени приступ у истраживању петрохемијских компанија базиран је на испитивању садашњег стања у петрохемијском комплексу, али с циљем да се изврши анализа рада комплекса и могућности побољшања ефикасности (енергетске и сировинске). Приказане су све опције које доводе и до унапређења процеса и остварења економске користи, што резултира користима и за животну средину – које се постижу кроз смањење емисија CO<sub>2</sub>, смањење емисија у отпадне воде и количина створеног отпада. Примењена је стандардна методологија чистије производње, која је ипак била прилагођена условима и потребама постројења. Развијени су и у анализи примењивани специфични индикатори животне средине, а параметри система потребни за анализу процеса добијени су мерењима *in situ*, у лабораторјским испитивањима, и на крају процесним моделирањем, оптимизацијом и симулацијом уз помоћ компјутерских програма за симулацију.

Значај приказаних резултата почива на чињеници да се примењена методологија и анализа могу применити и на друге индустријске гране. Имплементацијом успостављених модела и предложених решења из ове дисертације очекује се смањење потрошње енергије посматраних енергетских система, побољшање енергетске ефикасности, смањење емисија загађујућих материја у животну средину, смањење трошкова производње итд.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

Кандидаткиња Бојана Вукадиновић је верификовала научни допринос своје докторске тезе публиковањем следећих радова из докторске дисертације:

##### **Рад у међународном часопису изузетне вредности (M21a)**

1. **В. Vukadinović**, I. Popović, B. Dunjić, A. Jovović, M. Vlajić, Z. Bajić, M. Kijevčanin, Correlation between eco-efficiency measures and resource and impact decoupling for thermal power plants in Serbia, Journal of Cleaner Production 138 (2016) 264 – 274 (IF (2016) = 5,715; ISSN: 0959-6526)

##### **Рад у међународном часопису (M23)**

1. **В. Vukadinović**, I. Popović, A. Subotin, M. Kijevčanin, Cleaner production and environmental sustainability – analysis of the Serbian petrochemical plant, Energy

Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects (2017) Article in Press.  
(IF (2016) = 0,527; ISSN: 1556-7036).

**Рад у националном часопису (M53)**

1. **B. Vukadinović**, A. Jovović, Z. Mančić, M. Nemeš, *Implementacija sistema čistije proizvodnje u industriji Hipol AD*, Časopis Društva inženjera plastičara i gumara Svet polimera, januar 2009. (ISSN: 1450-6734)

**Радови са међународних скупова штампани у целини (M33):**

1. **B. Vukadinović**, I. Popović, B. Dunjić, M. Vlajić, Z. Bajić, M. Kijevčanin, Cleaner production assessment - improvement of energy and resource efficiency of thermal power plants in Serbia, Conference Proceedings of the 17th European Roundtable on Sustainable Consumption and Production, Portorož, Slovenia, October 14-16, 2014, paper 31 (pp. 143-151).
2. B. Dunjić, **B. Vukadinović**, V. Šatrić, D. Reike, R. Lozano, Seven years of resource efficient and cleaner production in Serbia: lessons learned and the way forward, Conference Proceedings of the 17th European Roundtable on Sustainable Consumption and Production, Portorož, Slovenia, October 14-16, 2014, paper 95 (pp.594-603).
3. B. Dunjić, **B. Vukadinović**, Introduction of Cleaner Production in Enterprises in Serbia, Conference Proceedings of the Second Regional Conference Energy in Industry and Environmental Protection in Southern and Eastern European Countries, Serbia, Zlatibor, jun 22-26, 2010, pp. 205-209

**Радови са националних скупова штампани у целини (M63):**

1. **B. Vukadinović**: Osnovi uvođenja čistije proizvodnje, Zbornik radova Konferencije o održivom razvoju i klimatskim promenama, Niš, Srbija, jun 2008. str. 103.-107.



## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу претходно наведеног, мишљење Комисије је да докторска дисертација кандидаткиње **Бојане Вукадиновић**, дипл. инж. технологије, под називом „**Нови модели за унапређење енергетске ефикасности у полимерној и сродним индустријама**“ представља оригиналан научни допринос предметне области истраживања. Оригиналност докторске дисертације кандидаткиње је потврђена објављивањем више радова у часописима међународног значаја. Постављени предмет и циљеви докторске дисертације су остварени, на основу чега Комисија износи своје мишљење да докторска дисертација под називом „Нови модели за унапређење енергетске ефикасности у полимерној и сродним индустријама“ у потпуности испуњава све захтеване критеријуме као и да је кандидаткиња током израде дисертације показала 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 кандидаткиње Бојане Вукадиновић, 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 кандидаткињу на усмену одбрану дисертације пред Комисијом у истом саставу.

У Београду, 26.06.2017.

### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

---

др Иванка Поповић, редовни професор  
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

---

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

---

др Александар Јововић, редовни професор  
Универзитет у Београду, Машински факултет