

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата **Мр Живковић Николе**, дипл. инж. машинства.

Одлуком бр. 35/294 од 20.07.2015. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Мр Живковић Николе**, дипл. инж. машинства под насловом:

„Регенеративни поступци уклањања сумпор-диоксида из димних гасова – избор и одређивање термофизичких својстава нових растварача и њихових смеша и моделовање процеса“.

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

17.03.2011. Кандидат **Мр Живковић Никола**, дипл. инж. машинства пријавио је тему докторске дисертације под називом **„Регенеративни поступци уклањања сумпор-диоксида из димних гасова – избор и одређивање термофизичких својстава нових растварача и њихових смеша и моделовање процеса“**. Наставно-научно веће Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду је дана 17.03.2011. усвојило састав Комисије за оцену научне заснованости предложене теме.

14.04.2011. На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета, на основу извештаја Комисије, донета је Одлука о прихватању предлога теме докторске дисертације **Мр Живковић Николе**, дипл. инж. машинства, под називом **„Регенеративни поступци уклањања сумпор-диоксида из димних гасова – избор и одређивање термофизичких својстава нових растварача и њихових смеша и моделовање процеса“**. За ментора ове докторске дисертације именован је Др Слободан Шербановић, редовни професор ТМФ-а.

09.05.2011. На V седници Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду дата је сагласност на предлог теме докторске дисертације **Мр Живковић Николе**, дипл. инж. машинства, под називом **„Регенеративни поступци уклањања сумпор-диоксида из димних гасова – избор и одређивање термофизичких својстава нових растварача и њихових смеша и моделовање процеса“**.

09.07.2015. На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета, донета је одлука о именовању чланова комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације **Мр Живковић Николе**, дипл. инж. машинства, под називом „**Регенеративни поступци уклањања сумпор-диоксида из димних гасова – избор и одређивање термофизичких својстава нових растварача и њихових смеша и моделовање процеса**“.

1.2. Научна област дисертације

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

Ментор ове докторске дисертације, Др Слободан Шербановић, редовни професор ТМФ-а, објавио је преко 100 радова у међународним часописима, од чега 32 у врхунским часописима међународног значаја (M21), као и више саопштења на домаћим и међународним научним скуповима.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Мр Никола Живковић је рођен 02.01.1970. године у Нишу, Република Србија. Основну школу и гимназију завршио је у Београду.

Студије на Машинском факултету у Београду, уписује 1989. године. Дипломски рад је одбранио 24.10.1997. године на катедри за Процесну Технологију са оценом 10, под менторством проф. Др Мартина Богнера. Средња оцена у току редовних студија била је 8,08. Последиломске студије уписује на Машинском факултету у Београду, на катедри за Процесну Технологију. Магистарски рад под називом “**Двофазно струјање у каналу аеросмеше са препрекама за потребе примене плазмене стабилизације ватре на котлу блока 210 MW ТЕ Никола Тесла - А**” одбранио је 17.09.2008. године, под менторством проф. Др Горана Јанкеса.

У периоду од 1998. – 1999. године, Мр Никола Живковић је био запослен у ДП “Интерсилвер”, Земун, на позицији инжењера у развоју. Од 1999. године до данас запослен је у Институту за Нуклеарне науке “Винча”, Лабораторија за Термотехнику и Енергетику, Београд.

Од тренутка запослења у Институту за Нуклеарне науке “Винча” Мр Никола Живковић је био учесник на следећим научним пројектима финансираних од стране Министарства за науку:

- Развој и освајање технологије добијања висококвалитетних композитних и угљеничних материјала и оксидне и неоксидне керамике, Ц 3.15.36.0133. Период: 1997. – 2000. година,
- Развој плазма технологије за стабилизацију сагоревања на котловима ТЕ ложених спрашеним угљем ниске топлотне вредности, ЕТР. 6.02.0147.Б. Период: 2002. – 2004. година,
- Имплементација и верификација плазма технологије за стабилизацију сагоревања у реалним условима енергетског котла у ТЕНТ-А1, ТР-6621Б. Период: 2005. – 2007. година,
- Развој унапређеног горионичког постројења за плазмену стабилизацију сагоревања угљеног праха у лету, ТР-17020. Период: 2008. – 2010. година,
- Смањење аерозагађења из Термоелектрана у ЈП Електропривреда Србије, ИИИ 42010. Период: од 2011. године до данас,

- Побољшање квалитета и технологије сагоревања домаћих лигнита у циљу повећања енергетске ефикасности и смањења емисије штетних материја из термоелектрана ЈП Електропривреда Србије, ТР 33050. Период: од 2011. године до данас.

Научно-истраживачке области ангажовања Мр Николе Живковића у досадашњем научно-истраживачком и стручном раду у Лабораторији за Термотехнику и енергетику, Института за Нуклеарне науке “Винча” су следеће:

- Примена плазма технологије за синтезу ултрадисперзних и керамичких прахова,
- Примена плазма технологије у енергетици,
- Корозиони процеси цевног система термоенергетских постројења,
- Нумеричко моделовање двофазног струјања система гас – чврсте честице,
- косагоревање комуналног чврстог отпада са угљеним прахом у котловима термоенергетских постројења,
- Термофизичка карактеризација органских солвената и њихових бинарних и тернерних смеша, за уклањање сумпорних оксида из димних гасова термоенергетских и индустријских постројења,
- Регенеративни поступци за уклањање сумпор-диоксида из димних гасова.

Мр Никола Живковић је аутор и коаутор више научних радова објављених у водећим међународним часописима, међународним часописима и часописима од националног значаја, научних и стручних радова саопштених на међународним и конференцијама од националног значаја. Мр Никола Живковић је 2010. године учествовао у изради прве националне комуникације за Републику Србију према оквирној конвенцији Уједињених Нација о климатским променама.

Активно користи енглески и служи се француским језиком. Члан је Друштва Термичара Србије. Ожењен је и отац је једног детета.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата, **Мр Живковић Николе**, дипл. инж. машинства, написана је на 275 страна, укључује 83 табеле, 71 слику, као и 102 литературна навода. Докторска дисертација садржи десет поглавља: Увод, Емитоване количине сумпорних оксида из енергетског сектора у Републици Србији, Законска регулатива у погледу смањења емисија сумпорних оксида, Преглед поступака за одсумпоравање димних гасова, Избор компоненти, бинарних и тернерних система за анализу, Термодинамичка и допунска термодинамичка својства бинарних и тернерних система, Експериментална мерења густине, динамичке вискозности и индекса рефракције изабраних бинарних и тернерних система, Резултати експерименталних мерења, Прорачун регенеративног технолошког процеса физичке апсорпције сумпор-диоксида из димних гасова и Закључак.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У овој докторској дисертацији извршено је испитивања термофизичких својстава (густине, динамичке вискозности и индекса рефракције) изабраних солвената и њихових међусобних бинарних и тернерних комбинација, за уклањање сумпор-диоксида из димних гасова великих термоенергетских постројења. Изабрани солвенти су: етар (тетраетилен гликол диметил етар (TEGDME)), лактам (1-метил-2-пиролидон (NMP)), амин (диметиланилин (DMA)), јонска течност (1-етил-3-метилимидазолиум етил сулфат ([EMIM][EtSO₄])) и њихове међусобне бинарне комбинације и бинарне комбинације са алкохолима (1-бутанол, 2- бутанол и 1-хексанол) и полимерима (полиетилен гликол 200 и 400 (PEG200 и PEG400)). Такође су испитивана термофизичка својства једног тернерног система 1-бутанол - PEG200 – NMP. На основу добијених вредности испитиваних термофизичких својстава, извршен је прорачун регенеративног процеса физичке апсорпције уклањања сумпор-диоксида из димних гасова из термоенергетских постројења. Као солвент за уклањање сумпор-диоксида коришћен је чист TEGDME.

Уводно поглавље даје сажет приказ анализираних проблематике ове докторске дисертације. Дат је кратак осврт на штетно дејство емитованог сумпор-диоксида из термоенергетских постројења на животну средњу, политику и усвојену регулативу Европске Уније, Сједињених Америчких Држава и Републике Србије као и предстојећи кораци на овом пољу у процесу придруживања Републике Србије Европској Унији. Укратко је дат преглед поступака за одсумпоравање димних гасова, при чему је посебно тежиште дато регенеративним процесима и солвентима који путем физичке апсорпције врше везивање сумпорних оксида из димних гасова. Такође, дат је приказ нових солвената и њихових међусобних бинарних и тернерних комбинација и комбинација са алкохолима и полимерима који путем физичке апсорпције врше везивање сумпор-диоксида из димних гасова. У кратким цртама је дат приказ прорачуна регенеративног процеса физичке апсорпције.

У првом поглављу је дат приказ емитованих количина сумпорних оксида из енергетског сектора у Републици Србији за референтне 1990. и 1998. годину и за 2011. – 2013. године. Дат је преглед оквирних емитованих количина сумпорних оксида и термоелектрана и термоелектрана-топлана у оквиру Јавног предузећа Електропривреда Србије, као доминантног енергетског субјекта у Републици Србији.

У другом поглављу дат је преглед законске регулативе у погледу смањења сумпорних оксида у Европској Унији, Сједињеним Америчким Државама и тренутно стање у Републици Србији и предстојеће обавезе Републике Србије у погледу смањења емисија сумпорних оксида у процесу приближавања Европској Унији. Посебно је значајна Прва национална комуникација Републике Србије, која обухвата и инвентар гасова са ефектом стаклене баште за референтне 1990. и 1998. године, израђена 2010. године након ратификације Кјото протокола.

Преглед поступака за одсумпоравање димних гасова и њихова генерална подела на не-регенеративне и регенеративне поступке дат је у трећем поглављу. Детаљно су приказани мокри поступци за одсумпоравање димних гасова (кречњачки поступак и дуални алкални поступак), процеси са аминима и термалном регенерацијом солвента. Посебан акценат стављен је на процесе са органским солвентима (TEGDME, NMP и јонске течности) код којих се врши уклањање сумпор-диоксида из димних гасова путем физичке апсорпције.

Четврто поглавље даје преглед изабраних солвената и њихових бинарних и тернерних комбинација чија су термофизичка својства испитивана у овој докторској дисертацији. Изабрани су следећи: алкохоли (1-бутанол, 2-бутанол и 1-хексанол), полимери (полиетилен гликоли - PEG200 и PEG400), етар (тетраетилен гликол диметил етар - TEGDME), лактам (1-метил-2-пиролидон - NMP), амин (диметиланилин - DMA) и јонска течност (1-етил-3-метилимидазолиум етил сулфат - [EMIM][EtSO₄]). На крају поглавља дат је сумарни табеларни приказ 27 испитиваних бинарних система и једног тернерног система 1-бутанол + PEG200 + NMP.

У петом поглављу анализиране су испитиване термофизичке величине (густина, динамичка вискозност и индекс рефракције) и одговарајуће допунске термофизичке величине (допунска моларна запремина, промена динамичке вискозности и промена индекса рефракције) за испитиване бинарне и тернерне системе наведене у четвртном поглављу. Наведене су формуле помоћу којих се израчунавају допунске моларне запремине, промене динамичке вискозности и промене индекса рефракције. Експериментални подаци за бинарне системе корелисани су *Redlich – Kister*-овим полиномом, док су експериментални подаци за тернерни систем корелисани *Nagata – Tamura* полиномом.

Поступак експерименталних мерења термофизичких карактеристика, чистих компоненти, њихових међусобних бинарних система и тернерног система детаљно је описан у шестом поглављу. Дат је опис коришћене експерименталне апаратуре са основним техничким карактеристикама и то, густиномер *Anton Paar DMA 5000*, Stabinger вискозиметар *Anton Paar SVM 3000* и рефрактометар *Anton Paar RXA 156*.

У седмом поглављу дат приказ експерименталних резултата мерења наведених термофизичких величина са коментарима за свих 27 бинарна система и један тернерни систем. Приказ резултата мерења бинарних система извршен је груписањем у три одвојена дела: приказ резултата мерења густине и допунске моларне запремине, динамичке вискозности и промене динамичке вискозности и индекса рефракције и промене индекса рефракције. Такође, приказ резултата и коментари дати су за групе бинарних система који су груписани према категорији једињења и то: алкохоли и полимери, алкохоли са етром, алкохоли са лактамом, полимери са етром и лактамом и систем лактам – етар, системи са амином (DMA) и системи са јонском течношћу ([EMIM][EtSO₄]). Приказом резултата на овај начин омогућен сажетији приказ и међусобна упоредљивост резултата за бинарне системе који припадају истој групи, чиме је омогућен општи приказ резултата и коментар карактера међумолекулских интеракција. На крају поглавља дат је приказ анализираних резултата мерења допунске моларне запремине и промене динамичке вискозности са коментарима међумолекулских интеракција за тернерни систем 1-бутанол - PEG200 – NMP.

У осмом поглављу дат је приказ резултата прорачуна регенеративног технолошког процеса физичке апсорпције сумпор-диоксида из димних гасова термоенергетског постројења. Собзиром на обимност литературних података, као физички солвент у прорачуну је коришћен TEGDME. Као улазни параметри за прорачун радних параметара процеса коришћени су резултати мерења температуре, протока и састава димног гаса на котлу блока А1, Термоелектране “Никола Тесла”, у току 2011. године. Прорачун регенеративног процеса физичке апсорпције извршен је одвојено за процес апсорпције и за процес десорпције, при чему су параметри на излазу из апсорбера уједно и улазни параметри у десорбер. У прорачуну процеса апсорпције приказан је степен издвајања сумпор-диоксида из димних гасова у зависности од протока апсорбента, температуре димног гаса на улазу у апсорбер, притиска у колони и броја подова колоне. У процесу десорпције уклањање везаног сумпор-диоксида из солвента врши се помоћу азота. Прорачуном процеса десорпције приказан је степен издвајања SO₂ из солвента у зависности од протока азота, температуре азота и броја подова десорпционе колоне.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Сумпор-диоксид је гас чије уклањање из отпадних гасова из термоенергетских и индустријских постројења у новије време у свету и Републици Србији заокупља значајну пажњу научне и стручне јавности. Присуство сумпорних оксида, а посебно сумпор-диоксида, у атмосфери је изузетно неповољно, собзиром да његов негативан еколошки утицај. У циљу очувања животног простора на планети, међународна заједница је у обавези да смањи емитоване количине сумпорних оксида, при чему је од посебног значаја Оквирна конвенција о климатским променама и Кјото протокол. У последње време, у процесу придруживања Европској Унији, пред Републиком Србијом стоји низ обавеза у погледу пречишћавања излазних димних гасова међу којима значајно место заузима уклањање сумпор-диоксида.

У овој докторској дисертацији је извршено испитивање термофизичких карактеристика (густине, динамичке вискозности и индекса рефракције) нових солвената за уклањање сумпор-диоксида из димних гасова, њихових међусобних бинарних смеша и бинарних смеша са алкохолима и полимерима. Чисте супстанце које имају повољна својства у погледу растворљивости SO₂ су PEG200, PEG400, TEGDME, NMP, DMA и [EMIM][EtSO₄]. Бинарни системи чија су термофизичка својства изучавана, формирана су њиховим међусобним комбинацијама и комбинацијама са алкохолима (1-бутанол-ом, 2-бутанол-ом и 1-хексанол-ом). У досадашњем прегледу научне и стручне литературе, за поједине чисте компоненте, не постоји довољно публикованих научних литературних података, који се могу искористити за прорачуне процеса апсорпције сумпор-диоксида. На основу досадашњег прегледа научне литературе, претходно споменуте бинарне и тернерне смеша, нису у потпуности или у довољној мери испитивани у погледу термофизичких карактеристика и растворљивости сумпор-диоксида у истим. Посебан значај ове докторске дисертације је испитивање термофизичких карактеристика јонске течности [EMIM][EtSO₄] због свог значаја као еколошког солвента и њених бинарних смеша са полимерима, NMP-ом и 1-хексанол-ом. Сви наведени солвенти имају изузетан значај у индустријској пракси за уклањање SO₂, међу којима посебну пажњу научне и стручне заједнице заокупљају TEGDME, NMP и [EMIM][EtSO₄].

Допринос ове докторске дисертације је у испитивању термофизичких карактеристика наведених органских солвената и њихових бинарних и тернерне смеше који до сада нису испитивани или су испитивани у недевољној мери. За одређен мали број испитиваних бинарних система постојали су подаци у литератури али за узан опсег температура (или неколико температура) и концентрација. Извршеним експерименталним испитивањима потврђена је валидност публикованих резултата и знатно проширена база термофизичких карактеристика за широк распон температура и концентрација. На основу добијених и анализираних резултата, добија се комплетан увид у међумолекулске интеракције мешљивих компоненти које сачињавају наведене системе. Свако треба назначити допринос проширењу базе података термофизичких карактеристика испитиваних солвената и њихових смеша, са аспекта пројектовања процеса и постројења за одсумпоравање излазних димних гасова из термоенергетских и индустријских постројења.

Савременост и оригиналност истраживања приказаних у овој докторској дисертацији потврђени су публикавањем више радова из тезе у истакнутом међународном часопису, међународним часописима и саопштењима на скуповима од међународног значаја.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Током израде докторске дисертације кандидат је извршио преглед научне и стручне литературе из релевантних научних области везаних за проблематику докторске тезе. Велика већина прегледане научне литературе састојала се од научних радова публикованих у водећим међународним часописима од стране еминентних стручњака из области и проблематике предметне докторске тезе. Тиме је кандидат стекао потпун увид у до сада објављене резултате испитивања термофизичких карактеристика физичких солвената и њихових смеша који се у пракси користе или су били коришћени за уклањање сумпор-диоксида из отпадних гасова и прорачуна процеса физичке апсорпције SO₂. Након стицања комплетног увида у досадашње објављене резултате, кандидат је извршио одабир органских солвената и њихових смеша чије карактеристике до сада нису биле испитиване или су биле испитиване за узан опсег температуре и концентрација. Верификацију експерименталних и анализираних резултата садржаних у овој тези, кандидат је потврдио публикавањем више радова у истакнутом међународном часопису и међународним часописима, чиме је дао свој научни допринос на пољу предметне проблематике и проширењу базе података испитиваних физичких солвената и њихових бинарних и тернерних смеша.

У овој докторској дисертацији укупно је наведено 102 референце, које обухватају области термодинамике, хемијског инжењерства, хемије, законске регулативе у погледу уклањања сумпор-диоксида, статистичких извештаја у погледу емитованих количина SO₂ у свету и у Републици Србији и прорачуна регенеративних процеса физичке апсорпције SO₂.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У пријави докторске тезе постављени су задаци који су остварени коришћењем експерименталних метода, методама анализе и обраде експерименталних резултата и методе прорачуна регенеративног поступка физичке апсорпције уклањања сумпор-диоксида из димних гасова.

Коришћене су следеће експерименталне методе за одређивање термофизичких карактеристика нових солвената и њихових бинарних и тернерних смеша:

- Одређивање густина, вршено је помоћу уређаја најновије генерације, густиномера *Anton Paar DMA 5000*. Мерење густине са прецизношћу од $1 \cdot 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ и тачношћу од $5 \cdot 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ врши се мерењем осцилација U -цеви помоћу осцилатора. Мерни опсег уређаја је од $0 \div 3 \text{ g/cm}^3$. Радни температурски опсег је $0 \div 90 \text{ }^\circ\text{C}$. Термостатирање се врши помоћу полупроводничког термостата, са тачношћу већом од $\pm 0,002 \text{ K}$, док се мерење температуре врши помоћу уграђеног платинског термометра тачности до $\pm 0,001 \text{ K}$.
- Одређивање динамичке вискозности, вршено је помоћу уређаја, *Stabinger* вискозиметра *Anton Paar SVM 3000*. Рад уређаја је базиран на модификованом Couette принципу са брзо ротирајућим спољним цилиндром и са спорије ротирјућим унутрашњим мерним цилиндром, при чему са уређајем поред динамичке вискозности може се одређивати и густина и кинематска вискозност. Мерни опсег уређаја је за динамичку вискозност од $0,2 \div 20000 \text{ mPas}$ а за густину од $0,65 \div 3 \text{ g/cm}^3$. Радни температурски опсег је $15 \div 105 \text{ }^\circ\text{C}$. Репродуктивност уређаја је $0,35\%$ док је поновљивост $0,1\%$.
- Одређивање индекса рефракције, вршено је помоћу уређаја, рефрактометра *Anton Paar RXA 156*. У циљу мерења рефрактометар се повезује са густиномером *Anton Paar DMA 5000* при чему користи његов софтвер и командни дисплеј. Принцип рада рефрактометра заснива се на излагању узорка светлости помоћу LED диоде. Зрак светлости се пропушта кроз узорак и призму и региструје се излазни угао зрака светлости. На основу вредности угла излазног зрака прерачунава се вредност индекса

рефракције. Радни температурски опсег уређаја је $10\div 70$ °C. Мерни опсег уређаја је $1,32 - 1,56$ nD, док је поновљивост мерења $2\cdot 10^{-5}$.

Коришћене су следеће методе анализе и обраде експерименталних резултата и методе прорачуна регенеративног поступка физичке апсорпције:

- Експериментални резултати густина, допунске молске запремине, динамичке вискозности, промене динамичке вискозности, индекса рефракције и промене индекса рефракције су корелисани помоћу *Redlich – Kister*-овог полинома за бинарне системе, односно *Nagata – Tamura* полинома за тернерни систем, коришћењем софтвера писаног у програмском језику *Fortran*.
- Прорачун радних параметара регенеративног поступка физичке апсорпције сумпор-диоксида у излазним димним гасовима извршено је у софтверском пакету *UniSim Design*.

3.4. Применљивост остварених резултата

Остварени резултати приказани у овој докторској дисертацији имају вишеструку примену. Примарни допринос и применљивост остварени резултати имају на пољу екологије. Уклањање сумпор-диоксида из димних отпадних гасова је од изузетног значаја за заштиту животне околине, собзиром на његово штетно дејство присуством у атмосфери. Посебан значај наведеног односи се на термоенергетска постројења у Републици Србији који су значајни емитери различитих штетних материја и гасова са ефектом стаклене баште међу које спада и сумпор-диоксид као гас са ефектом стаклене баште са индиректним дејством.

Значајан допринос и применљивост остварених резултата ове докторске дисертације представља прорачун регенеративног поступка физичке апсорпције уклањања SO₂ из димних гасова термоенергетских постројења (поглавље 8. докторске тезе). Из приказаних резултата прорачуна процеса стиче се комплетан увид у утицај процесних параметара на степен издвајања SO₂. Такође, приказани резултати прорачуна процеса представљају полазну базу за пројектовање процеса и постројења за уклањање SO₂ из отпадних гасова и на другим термоенергетским и индустријским постројењима у Републици Србији. Приказан процес уклањања може се применити у различитим индустријским и процесним постројењима као што су рафинерије нафте, челичане, ливнице, односно свим онима код којих се јавља емитовање SO₂ у атмосферу услед сагоревања фосилних горива која садрже у себи сумпор. Издвојени SO₂ из отпадних димних гасова може се касније искористити првенствено у хемијској индустрији за добијање крајњих производа са употребном вредношћу као што су на пример сумпорна и сумпораста киселина.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат Мр Никола Живковић ангажован је у научно-истраживачком раду од тренутка запослења у Лабораторији за Термотехнику и Енергетику, Института за Нуклеарне Науке “Винча”. У досадашњем раду, кандидат Мр Никола Живковић, био је као што је већ наведено ангажован у следећим областима:

- Примена плазма технологије за синтезу ултрадисперзних и керамичких прахова,
- Примена плазма технологије у енергетици,
- Корозиони процеси цевног система термоенергетских постројења,
- Нумеричко моделирање двофазног струјања система гас – чврсте честице и
- косагоревање комуналног чврстог отпада са угљеним прахом у котловима термоенергетских постројења.

У току израде докторске дисертације по називом „**Регенеративни поступци уклањања сумпор-диоксида из димних гасова – избор и одређивање термофизичких својстава нових растварача и њихових смеша и моделовање процеса**“, кандидат је исказао стручност и самосталност у свим фазама израде тезе, пружајући значајан научни допринос у научним областима које до сада нису биле истраживане или која су била само делимично истраживана:

- Термофизичка карактеризација нових органских солвената и њихових бинарних и тернерних смеша, за уклањање сумпорних оксида из димних гасова термоенергетских и индустријских постројења,
- Регенеративни поступци за уклањање сумпор-диоксида из димних гасова.

На основу изнетих чињеница, Комисија је мишљења да је кандидат квалификован и да поседује све квалитете који су неопходни за самосталан научно истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Докторска дисертација кандидата Мр Николе Живковића, дипл. инж. машинства, под називом „**Регенеративни поступци уклањања сумпор-диоксида из димних гасова – избор и одређивање термофизичких својстава нових растварача и њихових смеша и моделовање процеса**“ пружа значајан научни допринос на пољу термофизичке карактеризације нових органских физичких солвената за уклањање сумпор-диоксида из отпадних гасова из термоенергетских и индустријских постројења и параметарске анализе прорачуна степена издвајања SO_2 за процес одсумпоравања излазних димних гасова механизмом физичке апсорпције. Детаљан научни допринос ове докторске тезе укључује следеће:

- Дат је допринос проширењу базе података термофизичких карактеристика нових солвената и њихових бинарних и тернерних смеша, који поседују могућност уклањања SO_2 из отпадних димних гасова.
- Дат је допринос проширењу базе података термофизичких карактеристика нових солвената и њихових бинарних и тернерних смеша, чије су карактеристике у досадашњој научној и стручној литератури испитане у недовољној мери (за сужен опсег температура и концентрација).
- На основу извршених експерименталних мерења, приказаних резултата испитивања термофизичких карактеристика и анализе допунских величина бинарних и тернерних система, објашњене су међумолекулске интеракције и појаве у њима.
- Извршено је моделовање регенеративног поступка уклањања SO_2 механизмом физичке апсорпције из отпадних димних гасова.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Примарни допринос предметне докторске дисертације је у проширењу базе термофизичких карактеристика потенцијално нових физичких солвента и њихових бинарних и тернерне смеше, који могу послужити за уклањање сумпор-диоксида у двостепеним (апсорпција - десорпција) регенеративним процесима физичке апсорпције. Експериментално испитивање термофизичких својстава вршено је за распон температура од 288,15 К - 333,15 К и цео концентрациони опсег. На основу добијених експерименталних резултата извршено је одређивање допунских величина (допунске моларне запремине, промене динамичке

вискозности и промене индекса рефракције) за бинарне и тернерну смешу, на основу којих је извршен коментар међумолекулских интеракција. Овиме је представљен комплетан увид о утицају температуре и молског удела компонената на атмосферском притиску, које учествују у саставу смеша на термофизичке карактеристике поменутих смеша. Да би приказ и коментар међумолекулских интеракција био сажетији и међусобно упоредив бинарни системи су груписани у шест група једињења према њиховој категорији. У оквиру сваке од група дат је општи приказ и коментар међумолекулских интеракција са посебним освртом на специфичности понашања појединих система из исте групе. Такође, дат је коментар међусобних релативних односа допунских величина, односно међумолекулских интеракција. Испитивани бинарни системи су груписани у следеће групе: алкоhole са полимерима, алкоhole са етром, алкоhole са лактамом, полимери са етром и лактамом, као и лактам са етром, бинарне системе са амином и бинарне системе са јонском течносту. Сви наведени физички солвенти поседују изузетно повољна својства као што су низак напон паре, висока температура кључања, слаба испарљивост и друго. Од посебног значаја је испитивана јонска течност која има изузетно низак напон паре у односу на остале испитиване органске солвенте, на собној температури је течност и еколошки је солвент. Наведене термофизичке карактеристике чистих компонената конституената бинарних и тернерне смеше, са енергетског аспекта у оперативној употреби процеса уклањања SO₂ из димних гасова су од изузетног је значаја.

Располажући широком базом термофизичких карактеристика чистих солвента и њихових смеша, могуће је извршити прорачуне регенеративног процеса физичке апсорпције SO₂. Прорачун регенеративног поступка уклањања SO₂ из димних гасова извршен је декомпозицијом процеса на степен апсорпције и десорпције. Као физички солвент коришћена је чиста компонента етар (TEGDME) који поседује повољна својства у погледу апсорпције сумпор-диоксида, док су за улазне параметре процеса коришћене измерене величине на реалном термоенергетском постројењу. Извршена је параметарска анализа утицаја појединих параметара процеса апсорпције (десорпције) на степен уклањања SO₂. Приказани пример прорачуна и оптимизације процеса представља полазну основу и пример на који начин се врши прорачун процеса апсорпције, који се уједно може искористити и за друга термоенергетска и индустријска постројења, као што су ливнице, челичане, постројења у петрохемијској индустрији и друга.

Приказана научна истраживања у овој докторској дисертацији, отварају нове области истраживања као наставак предметне проблематике, међу којима су испитивања растворљивости SO₂ у испитиваним солвентима и њиховим смешама, оптимизација процеса, техно-економска анализа процеса физичке апсорпције са наведеним солвентима и друго.

4.3. Верификација научних доприноса

Кандидат Мр Никола Живковић је публикувао шест радова из докторске дисертације и то: један рад у истакнутом међународном часопису (M22), два рада у међународном часопису (M23), два рада са међународних скупова штампаних у целини (M33) и један рад са међународног скупа штампан у изводу (M34), чиме је верификовао научни допринос своје докторске тезе.

Категорија M22:

1. N. V. Živković, S. P. Šerbanović, M. Lj. Kijevčanin, E. M. Živković, Volumetric and Viscosimetric Behavior of Binary Systems 2-Butanol + PEG 200, + PEG 400, + Tetraethylene Glycol Dimethyl Ether, and + N-Methyl-2-pyrrolidone, *J. Chem Eng. Data*, 58 (2013) 3332-3341, (IF=2.075 za 2013. godinu) (ISSN 0021-9568), DOI 10.1021/jc400486p.

Категорија M23:

1. N. Živković, S. Šerbanović, M. Kijevčanin, E. Živković, Volumetric Properties, Viscosities, and Refractive Indices of the Binary Systems 1-Butanol + PEG200, + PEG400, and + TEGDME, *Int. J. Thermophys.*, 34 (2013) 1002-1020, (IF=0.797 za 2013. godinu) (ISSN 0195-928X), DOI 10.1007/s10765-013-1469-0.
2. N.V. Živković, S.P. Šerbanović, E.M. Živković, M.Lj. Kijevčanin, P.Lj. Stefanović, Wet Flue Gas Desulphurisation Procedures And Relevant Solvent Thermophysical Properties Determination, *Chemical Industry*, 68 (2014) 491-500, (IF=0.319 za 2014. godinu) (ISSN 0367-598X), DOI:10.2298/HEMIND130610074Z.

Категорија M33:

1. N. Živković, S. Šerbanović, E. Živković, V. Spasojević, M. Erić, Legislation for Allowed Emissions of Sulfur Oxides and the International Obligations of the Republic of Serbia, Full Papers Proceeding of International Conference "Power Plants 2014", 28-31.October 2014, Zlatibor Serbia, 815 – 823, ISBN 978-86-7877-024-1.
2. N.V. Živković, S.P. Šerbanović, E.M. Živković, M.Lj. Kijevčanin, Viscosity measurements and viscosity deviations for binary systems 2-Butanol+TEGDME, 2-Butanol+NMP and NMP+TEGDME as potential solvents for SO₂ capture from flue gases, Full Papers Proceeding of International Conference "51st Meeting of Serbian Chemical Society", 5-7 June, 2014, Niš, Serbia, 33 – 37, ISBN 978-86-7132-055-9.

Категорија M34:

1. **N. Živković**, S. Šerbanović, E. Živković, M. Kijevčanin, Densities and viscosities of binary systems with 1-hexanol and tetra ethylene glycol dimethyl ether or N-methyl-2-pyrrolidone, as potential solvents for flue gas desulphurization processes, 8th International Conference of the Chemical Societies of the South-East European Countries, June 27-29, 2013, Belgrade, Serbia, 197, ISBN 978-86-7132-053-5.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу претходно наведеног, мишљење Комисије је да докторска дисертација кандидата Мр Николе Живковића, дипл. инж. машинства, под називом **„Регенеративни поступци уклањања сумпор-диоксида из димних гасова – избор и одређивање термофизичких својстава нових растварача и њихових смеша и моделовање процеса“** представља оригиналан научни допринос предметне области истраживања. Оригиналноост докторске дисертације кандидата је потврђена објављивањем више радова у часописима међународног значаја. Постављени предмет и циљеви докторске дисертације у потпуности су остварени, на основу чега Комисија износи своје мишљење да докторска дисертација под називом **„Регенеративни поступци уклањања сумпор-диоксида из димних гасова – избор и одређивање термофизичких својстава нових растварача и њихових смеша и моделовање процеса“** у потпуности испуњава све захтеване критеријуме као и да је кандидат током израде дисертације показао самосталност и оригиналност у научно-истраживачком раду током израде ове дисертације.

Имајући у виду квалитет, обим и научни допринос постигнутих и приказаних резултата, Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду, да прихвати овај Реферат, пружи на увид јавности поднету докторску дисертацију кандидата Мр Николе Живковића, дипл. инж. машинства 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, 01.09.2015.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

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

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

Проф. др Ивона Радовић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет