

УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ

ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА
УНИВЕРЗИТЕТА У КРАГУЈЕВЦУ

ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА
УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
Бр. 01-1/3394
26.09. 2023 год
КРАГУЈЕВАЦ

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
ФАКУЛТЕТА ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА УНИВЕРЗИТЕТА У КРАГУЈЕВЦУ**

Предмет: Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата
Николе Ракића, мастер инжењер машинства

Одлуком Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу број IV-04-683/18 од 19.09.2023. године, на предлог Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу (одлука бр. 01-1/2812-19 од 31.08.2023. године), именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације (у даљем тексту Комисија) у научној области Машинско инжењерство, ужој научној области Енергетика и процесна техника, кандидата Николе Ракића, мас. инж. маш., под називом:

**“ПОВЕЋАЊЕ ЕНЕРГЕТСКЕ ЕФИКАСНОСТИ У ПОСТРОЈЕЊИМА ЗА ТРЕТМАН ОТПАДНИХ
ВОДА ОПТИМИЗАЦИЈОМ ПРОЦЕСА КОДИГЕСТИЈЕ”**

На основу увида у приложену докторску дисертацију и Извештаја комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације, која је одобрена за израду Одлуком Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу бр. 01-1/1899 од 07.06.2018. године и Одлуком Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу бр. IV-04-772/15 од 10.10.2018. године, на основу Правилника о пријави, изради и одбрани докторске дисертације Универзитета у Крагујевцу, Комисија подноси Наставно-научном већу Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу следећи:

ИЗВЕШТАЈ

1. Опис докторске дисертације

Докторска дисертација Николе Ракића, маст. инж. маш., под називом “Повећање енергетске ефикасности у постројењима за третман отпадних вода оптимизацијом процеса кодигестије” представља резултат мултидисциплинарног научно-истраживачког рада кандидата у областима технологије пречишћавања отпадних вода

и алтернативних извора енергије, а односи се на развој модела који симулира процес кодигестије отпада од хране у анаеробном дигестору.

Кандидат је у докторској дисертацији указао на више-дисциплинарни карактер теме и значај кодигестије при свакодневном третману отпадних вода у глобалном контексту, указујући на њене мањкавости и ограниченост примене. Назначени су проблеми у комбиновању различитих типова ко/супстрата, недостаци самог процеса који могу довести до његовог неуспеха, као и значај експерименталних истраживања. У смислу доступне међународне научне литературе, кандидат је анализирао експерименталне поставке са компаративним приказима њихових учинака и условима извођења.

У дисертацији је анализиран пораст производње комуналног чврстог отпада, као и отпада од хране као његовог неизоставног дела, који значајно доприноси стварању угљеничног отиска па самим тим евидентно утиче на животну средину. Представљено је више потенцијалних технологија за третирање прехранбеног отпада са акцентом на анаеробну ко/дигестију (АД) - сложен процес који укључује бројне комбинације бактерија и метаногених археја. Предвиђени нуспроизводи процеса су дигестат, који служи као ђубриво богато хранљивим материјама, и биогаз, који се може користити као извор енергије. Производња обновљиве енергије и смањени утицај на животну средину, АД идентификује као прикладнију од других технологија.

У оквиру дисертације су описане кључне карактеристике отпада од хране кроз варирање састава у погледу физичких и биохемијских својстава на два начина: (1) географски, према континенту и извору сакупљања, и (2) сезонски, укључујући лето и зиму, периоде празника и рада, и празничне сезоне. Истакнут је потенцијал за производњу обновљиве енергије у процесу АД услед високе биоразградљивости, концентрације органске материје и подложности хидролизи отпада од хране.

Када се говори о анаеробној дигестији канализационог муља наглашено је, да иако је обично ограничен слабом дигестијом и одложеном ферментацијом, садржи значајне количине есенцијалних микроба који су корисни за ширење различитих група микроорганизама укључених у процес. Поред тога, АД игра кључну улогу у третирању муља смањењем запремине, повећањем стабилности и уклањањем микроорганизама.

Такође, кандидат је анализирао низ спроведених студија и истраживачких активности које се баве одређивањем потенцијала биогаза чврстих органских супстрата. Вршено је посматрање стварања биогаза, кинетике разградње и синергистичког ефекта махом шаржних, али и појединих континуалних тестова. Закључено је да дигестија појединачних супстрата у дугорочним операцијама може имати негативне аспекте везане за карактеристике супстрата, тј. неравнотежу хранљивих састојака у систему. Стога, анаеробна кодигестија сировина (отпада од хране и канализационог муља) представља опцију за превазилажење недостатака монодигестије, као и побољшање економске активности процеса. Препознато је да анаеробна дигестија постаје стабилнија када се повећава разноликост супстрата који се истовремено примењују. Такође, анализом истраживања утврђено је да употреба косупстрата побољшава

принесе биогаса из анаеробних дигестора због позитивних синергизама успостављених у медију за третирање и снабдевања недостајућих хранљивих састојака косупстратима.

На основу резултата истраживања, у докторској дисертацији изведени су одговарајући закључци и истакнути правци даљих истраживања, у смислу унапређења примењених модела и процедура.

2. Значај и допринос докторске дисертације са становишта актуелног стања у одређеној научној области

У дисертацији су прегледно наведени потенцијали кодигестије у Републици Србији у смислу доступности ко/супстрата и планиране инфраструктуре. Свега око 55% становништва (60% домаћинстава) Републике Србије прикључено је на канализациони систем, а остатак домаћинстава користи септичке јаме. У Србији је свега 15% становништва обухваћено третманом за пречишћавање отпадних вода. У наредном периоду планирана је изградња 350 нових постројења за пречишћавање отпадних вода – за сва насеља са више од 2.000 становника. Оперативна постројења за пречишћавање отпадних вода пружају услуге за око 600.000 становника. Процењује се да ће производња муља достићи годишњи износ од 135.190 t суве материје након што се Директива о пречишћавању комуналних отпадних вода у потпуности примени до 2041. године. На основу прегледа доступних литературних података о процесима кодигестије који су анализирани за поједине земље ЕУ и земље из региона, може се претпоставити да у Србији постоји значајан енергетски потенцијал добијања биогаса и повећања енергетске ефикасности у постројењима за третман отпадних вода.

Када је отпад од хране у питању, српске породице бацају 198.712 тона прехранбених остатака годишње. Извештај УНЕП-а из 2021. открива да домаћинства у Србији производе 726.196 тона отпада од хране или 83 kg по глави становника. Количина се креће до 900.000 тона кухињског отпада, процењено на основу створеног комуналног отпада. У просеку, становник Републике Србије произведе 1,21 kg комуналног отпада/дан или 442 kg отпада у 2023. години. Огроман део овог отпада – који се процењује на 99% – одлаже се на депоније, остављајући значајан отисак на животну средину. Преосталих 1% се највећим делом користи за компостирање, производњу биогаса и донацију хране. Због високог садржаја влаге и лако биоразградиве природе, отпад од хране је најизазовнија и најчешће коришћена фракција комуналног отпада у процесу анаеробне дигестије.

Значај докторске дисертације се огледа у развоју експерименталног и математичког модела за одређивање приноса биогаса у процесу кодигестије канализационог муља и отпада од хране, као сировинама. Кодигестија представља истовремено анаеробно разлагање хомогене смеше два или више супстрата и пружа могућности да се третира органски отпад, поврате хранљиве материје и истовремено произведе биогас као обновљиво гориво. У дисертацији је показано да комбиновање различитих органских отпада доводи до боље балансираног и сортираног супстрата у смислу хранљивих састојака. Приступачан и ниско-технолошки систем кодигестије не само да смањује обим материјала који се одлаже (и тиме избегава загађење тла и

подземних вода), већ обезбеђује обновљиву и јефтину енергију – биогаз. Он за разлику од других фосилних горива, одржава равнотежу гасова са ефектом стаклене баште, као што је CO₂. Поред биогаза, додатни извор прихода из процеса анаеробне ко/дигестије органских чврстих материја представља полу-чврсти нуспродукт. Захваљујући високом садржају хранљивих материја, он се може користити у пољопривреди директно као ђубриво, или прерадити у компост како би се повећао његов квалитет.

У оквиру експерименталних истраживања, кандидат је користио стандардну и базичну опрему за утврђивање био-хемијског метанског потенцијала. рН вредност и хемијска потрошња кисеоника праћени су свакодневно, при чему су COD вредности коришћење за утврђивање синергистичког ефекта кодигестираних мешавина. Допринос дисертације представља дефинисање оптималног односа отпада од хране у косупстрату са аспекта повећања производње биогаза, и стабилности процеса. Експериментално оформљена једначина дефинише запремину биогаза насталог у процесу кодигестије на основу односа маса COD-а додатих у кодигестији и појединачној дигестији. Уједно, у програмском језику С представљен је линеаран математички модел који дефинише вредност биогаза у ко/супстратној мешавини. Овај модел је заснован на тренутним вредностима хемијске потрошње кисеоника у анаеробном реактору.

3. Оцена да је урађена докторска дисертација резултат оригиналног научног рада кандидата у одговарајућој научној области

Докторска дисертација Николе Ракића, маг. инж. маш., под називом “**Повећање енергетске ефикасности у постројењима за третман отпадних вода оптимизацијом процеса кодигестије**” представља резултат самосталног научно-истраживачког рада кандидата у ужој научној области Енергетика и процесна техника. Докторска дисертација је прошла обавезну проверу на плагијаризам у софтверу iThenticate која потврђује да је реч о оригиналном научном раду. Такође, у складу са Правилником о поступку провере на плагијаризам Универзитета у Крагујевцу, докторска дисертација је позитивно оцењена од стране ментора др Вање Шуштершич, редовног професора Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу.

На основу резултата спроведених теоријских и експерименталних истраживања, као и на основу формулације модела заснованог на низу лабораторијских сетова и мерења, може се закључити да дисертација представља оригинални научни рад. Обрађена тема је актуелна, садржајна и даје конкретне научне резултате. Кандидат је самостално и темељно обрадио тему, при чему је користио теоријске основе и литературне изворе научних дисциплина релевантних за разматране проблеме. Критички је анализирао бројне научне радове који се односе на проблематику разматрану у оквиру дисертације.

Оригиналност научног рада и истраживања остварених у оквиру докторске дисертације огледају се у следећем:

- Коришћени ко/супстрати су узорковани у Централном постројењу за третман отпадних вода “Цветовевац” и Студентском дому “Вита Јанић” у Крагујевцу, са којима раније није рађена ова врста испитивања.

- Оформљена је стандардна лабораторијска поставка на Факултету инжењерских наука и математички су утврђени почетни запремински односи ко/супстрата у функцији односа инокулум/супстрат.
- Изведен је низ експеримената са аутентичним мерењима током периода од годину и по дана.
- Експериментално је оптимизован однос отада од хране и примарног муља у мешавини у функцији приноса биогаза и стабилности рада опитног постројења.
- Утврђена су синергистичка дејства кодигестије.
- Утврђена је једначина зависности производње биогаза ко/супстрата у кодигестији на основу односа маса хемијске потрошње кисеоника и продукције биогаза у монодигестији.
- Формиран је модел биогазног садржаја реактора у функцији хемијске потрошње кисеоника који се може применити на постројења пуног обима.

4. Преглед остварених резултата кандидата у одређеној научној области

4.1. Биографија кандидата

Кандидат Никола Ракић, маг. инж. маш. рођен је 06.08.1987. године у Крагујевцу. Основну школу „Драгиша Луковић - Шпанац“ у Крагујевцу завршио са одличним успехом као носилац Вукове дипломе, а школовање наставио као ђак Прве крагујевачке гимназије, коју је успешно завршио 28.06.2006. године.

Основне академске студије у трајању од три године на Машинском факултету Универзитета у Крагујевцу уписао 2006. године. Дана 20.11.2009. године одбранио је завршни рад из предмета „Хидрауличне и пнеуматске машине“ оценом 10 и просечном оценом студирања 9.00, чиме је завршио основне академске студије на смеру Енергетика и процесна техника и тиме стекао академски назив „инжењер машинства“.

Мастер академске студије у трајању од две године, уписао 2009. године на Машинском факултету Универзитета у Крагујевцу, смер Енергетика и процесна техника. Исти ниво студија завршио 27.10.2011. одбраном мастер рада из предмета „Процесни апарати и постројења“, (Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу), оценом 10 и просечном оценом у току студија 9,56, чиме је стекао академски назив „мастер инжењер машинства“. Кроз израду мастер рада укључио се у истраживачке активности на Факултету у оквиру интегралног и интердисциплинарног истраживања "Истраживање когенерационих потенцијала у комуналним и индустријским енерганама Републике Србије и могућности за ревитализацију постојећих и градњу нових когенерационих постројења" (ИИИ42013).

Докторске академске студије, у трајању од три године према плану и програму, на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, научна област Енергетика и процесна техника, уписао 01.12.2011. године под менторством проф. др Милуна Бабића, касније проф. др Душана Гордића и на крају проф. др Вање Шуштершич. Положио је све предмете предвиђене програмом са просечном оценом 9.67.

У току докторских студија имао је неколико стручних усавршавања:

1) Седмодневни тренинг „Participatory Backcasting for Strategic Planning towards Sustainable Cities“ на Краљевском институту за технологију у Стокхолму, Шведска (KTH Royal Institute Of Technology) - децембар 2013;

2) Петомесечни истраживачки боравак на Политехници у Торину, Италија (PoliTo) са темом термичко моделирање зграда – фебруар/јул 2017;

3) Четворомесечни истраживачки боравак на Монтан Универзитету у Леобену, Аустрија (Montan Universitaet) са темом Power to Gas процес – август/децембар 2017;

Од школске 2011/2012. године, као сарадник учествује у извођењу вежби из више предмета од којих су примарни: Енергија и животна средина, Механика II, Основи процесних апарата и постројења.

Служи се енглеским језиком (IELTS 7/9 – C1).

4.2. Референце кандидата

Кандидат је до сада, као аутор или коаутор, објавио укупно 26 научно-истраживачка рада:

Рад у истакнутом међународном часопису М22

1. Josijević M., Gordić D., Milovanović D., Jurišević N., **Rakić N.**, A method to estimate savings of led lighting instalation in public buildings: the case study of secondary schools in Serbia, *Thermal Science*, Vol.21, No.6B, pp. 2931-2943, ISSN 0354-9836, 2017, <https://doi.org/10.2298/TSCI161209118J>
2. **Rakić N.**, Gordić D., Šušteršič V., Josijević M., Babić M., Renewable electricity in Western Balkans: Support policies and current state, *Thermal Science*, Vol.22, No.6A, pp. 2281-2296, ISSN 0354-9836, 2018, <https://doi.org/10.2298/TSCI180512169R>
3. **Rakić N.**, Šušteršič V., Gordić D., Jovičić N., Bošković G., Bogdanović I., Characteristics of Biogas Production and Synergistic Effect of Primary Sludge and Food Waste Co-Digestion. *Bioenergy Research*, ISSN 1939-1234, 2023 <https://doi.org/10.1007/s12155-023-10620-8>

Саопштење са међународног скупа штампано у целини М33

1. **Rakic N.**, Popovic M., Canovic D., Jovicic N., Babic M., Environmental and financial aspects of replacing coal and fuel oil with natural gas on the “Home location” of “Energy” ltd., *7th International Quality Conference*, Center for Quality, Faculty of Engineering, University of Kragujevac, 2013, May 24th, pp. 279-284, ISBN 978-86-86663-94-8
2. Jurišević N., Šušteršič V., Gordić D., **Rakić N.**, Overview of air quality legislation and monitoring of measurement zone Serbia, *9th International quality conference*, Center for Quality, Faculty of Engineering, University of Kragujevac, 2015, June, pp. 145-152, ISBN 978-86-6335-015-1

3. Aleksić N., Šušteršič V., Gordić D., Nikolić D., **Rakić N.**, Reduction of water consumption in waste water treatment systems in the automotive industry, *14th International Conference on Accomplishments in Mechanical and Industrial Engineering, DEMI 2019*, Banja Luka, 2019, 24-25 May, pp. 241-246, ISBN 978-99938-39-72-9
4. Josijević M., Šušteršič V., Gordić D., Vukašinović V., Nikolić D., **Rakić N.**, Pregled mera energetske efikasnosti i sprovođenje energetskeg pregleda u prehrambenoj industriji, *XXXV Međunarodno savetovanje Energetika 2020*, Zlatibor, 2020, 21-24. jun, pp. 203-208, ISBN 978-86-86199-02-7
5. **Rakić N.**, Šušteršič V., Gordić D., Josijević M., Jurišević N., Nikolić J., Inoculum to substrate ratio: Calculating methods, *XXXV Međunarodno savetovanje Energetika 2020*, Zlatibor, 2020, 21-24. jun, pp. 285-291, ISBN 978-86-86199-02-7
6. Aleksić N., Šušteršič V., Nikolić J., **Rakić N.**, Gordić D., Domestic wastewater treatment in the Republic of Serbia, *15th International Conference on Accomplishments in Mechanical and Industrial Engineering, DEMI 2021*, Banja Luka, 2021, 28-29. May, pp. 229-236, ISBN 978-99938-39-92-7
7. Šušteršič V., Aleksić N., **Rakić N.**, Josijević M., Wastewater as a new source of energy, *16th International Conference on Accomplishments in Mechanical and Industrial Engineering, DEMI 2023*, Banja Luka, 2023, 1-2 June, ISBN: 978-99938-39-92-7

Рад у водећем часопису националног значаја М51

1. Цановић Д., Поповић М., **Ракић Н.**, Јовичић Г., Бабић М., Истраживање техно - економских предуслова и могућности за имплементацију малих когенеративних постројења са гасним моторима на локацијама новоизграђених и репроектваних рејонских енергана Енергетика д.о.о. Крагујевац, *Енергија-економија-еколоија*, Вол.15, бр.1-2, стр. 60-67, ISSN 0354-8651, 2013
2. Бабић М., Јовичић Н., **Ракић Н.**, Цановић Д., Поповић М., Истраживање технокономских предуслова и могућности за имплементацију когенеративног постројења са комбинованим гасно-парним циклусом у матичну енергану, *Енергија-економија-еколоија*, Вол.15, бр.5, стр. 39-49, ISSN 0354-8651, 2013
3. **Ракић Н.**, Цановић Д., Поповић М., Гордић Д., Бабић М., Техно - економски аспекти и могућност имплементације парног когенерационог циклуса на постојећа котловска постројења у енергани "Енергетика" Крагујевац, Енергетика, *Енергија-економија-еколоија*, Вол.13, бр.3-4, стр. 289-297, ISSN 3554-8651, 2013
4. Гордић Д., Поповић М., Цановић Д., **Ракић Н.**, Јосијевић М., Технологија сакупљања и геолошког складиштења CO₂ - CCS технологија, *Енергија-економија-еколоија*, Вол.16, бр.1-2, стр. 265-271, ISSN 0354-8651, 2014
5. Цановић Д., Јовичић Н., Поповић М., Јосијевић М., **Ракић Н.**, Јуришевић Н., Бабић М., Истраживање техно-економских предуслова, могућности и оправданости за

искоришћење депонијског гаса са депоније комуналног отпада у Крагујевцу, *Енерџија-економија-еколоџија*, Вол.17, бр.3-4, стр. 319-326, ISSN 0354-8651, 2015

6. Јосијевић М., Андрић Н., Цановић Д., **Ракић Н.**, Гордић Д., Енергетска ефикасност система за грејање санитарне воде са соларним колекторима на објектима Клиничко болничког центра у Крагујевцу, *Енерџија-економија-еколоџија*, Вол.17, бр.3-4, стр. 341-347, ISSN 0354-8651, 2015
7. Јуришевић Н., Шуштершич В., Гордић Д., Бабић М., **Ракић Н.**, Савић С., Цановић Д., Анализа и мониторинг квалитета ваздуха мерне зоне Србија у току календарске 2013., *Енерџија-економија-еколоџија*, Вол.17, бр.3-4, стр. 197-204, ISSN 0354-8651, 2015
8. Јуришевић Н., Јосијевић М., **Ракић Н.**, Миловановић А., Специфична потрошња финалне енергије у предшколским установама у Крагујевцу, *Енерџија-економија-еколоџија*, Вол.18, бр.1-2, рр. 56-63, ISSN 0354-8651, 2016
9. **Ракић Н.**, Јуришевић Н., Ђоковић Н., Бабић М., Технологије складиштења електричне енергије, *Енерџија-економија-еколоџија*, Вол.18, бр. 1-2, стр.56 - 63, ISSN 0354-8651, 2016
10. Живковић Д., Кончаловић Д., Скерлић Ј., Вукашиновић В., Јосијевић М., **Ракић Н.**, Имплементација концепта значајне енергетске санације зграда у ЕУ и Србији, *Енерџија-економија-еколоџија*, Вол.20, бр.1-2, стр. 148-156, ISSN 0354-8651, 2018
11. Јосијевић М., **Ракић Н.**, Шуштершич В., Гордић Д., Вукашиновић В., Живковић Д., Технологије складиштења топлотне енергије, *Енерџија - економија – еколоџија*, Вол.20, бр.1-2, стр. 168-174, ISSN 0354-8651, 2018
12. **Ракић Н.**, Шуштершич В., Гордић Д., Power-to-gas (P2G) process: Basics, Енергија - економија - екологија, Вол.20, бр.1-2, стр. 429-434, ISSN 0354-8651, 2018

Рад у часопису националног значаја М52

1. **Ракић Н.**, Цановић Д., Јуришевић Н., Шуштершич В., Бабић М., Комбинована производња топлотне и електричне енергије когенеративним гасним модулом „Vitobloc 200 EM-20/39“, *Трактори и њионске машине*, Вол.19, бр.4, стр. 54-60, ISSN 0354-9496, 2014
2. Алексић Н., Шуштершич В., **Ракић Н.**, Гордић Д., Потрошња енергије и примена обновљивих извора енергије у постројењима за третман отпадних вода, *Енерџија - економија - еколоџија*, Вол.24, бр.3, стр. 7-15, ISSN 0354-8651, Doi 10.46793/EEE22-3.07A, 2022

Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини М63

1. Цановић Д., Поповић М., **Ракић Н.**, Милашиновић М., Јовичић Н., Истраживање техно-економских предуслова, могућности за изградњу и утицаја на квалитет животне средине трансфер станице на депонију у Крагујевцу, *8. Национална*

конференција о квалитету животиња, Крагујевац, 2013, 23-25 Мај, стр. А334-А342, ISBN 978-86-86663-93-1

2. Поповић М., Цановић Д., Ракић Н., Бошковић Г., Јовичић Н., Постројење за механичко-биолошки третман отпада као еко одрживо решење за управљање отпадом у Крагујевцу, 8. Национална конференција о квалитету животиња, Крагујевац, 2013, 23-25 Мај, стр. А322-А332, ISBN 978-86-86663-93-1

5. Оцена испуњености обима и квалитета у односу на пријављену тему

Докторска дисертација кандидата Николе Ракића, маг. инж. маш., под називом “Повећање енергетске ефикасности у постројењима за третман отпадних вода оптимизацијом процеса кодигестије” одговара по садржају теми прихваћеној од стране Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу одлуком бр. 01-1/3005-32 од 20.09.2018. и Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу бр. IV-04-772/15 од 10.10.2018. По квалитету, обиму и резултатима истраживања у потпуности задовољава све научне, стручне и законске услове за израду докторских дисертација. Наслов докторске дисертације, урађена истраживања, као и циљеви проучавања су у складу са оним који су наведени у пријави теме.

Дисертација је написана на 127 страна, садржи 26 слика, 30 табела и 199 библиографских јединица. Дисертација је изложена у 6 поглавља, којима претходе резиме рада на српском и енглеском језику, списак илустрација и табела, преглед значајних акронима и скраћеница и садржај рада.

Наслови поглавља су:

1. Увод
 2. Преглед досадашњих истраживања
 3. Теоријске поставке анаеробне ко/дигестије
 4. Материјали, методе и модели
 5. Резултати и дискусија
 6. Закључци
- Литература

Прво поглавље садржи уводна разматрања процеса ко/дигестије, дефиниције, примене и ограничења. Дефинисани су предмет и циљеви истраживања и основне хипотезе. Дат је кратак преглед стања у домену отпада од хране и канализационог муља у Републици Србији. Наведени су производи процеса ко/дигестије са посебним освртом на биогаз.

У другом поглављу је дат преглед већег броја извршених експеримената са различитим ко/супстратима, временом задржавања, односом инокулум/супстрат и супстрат/косупстрат и др. Прегледом су обухваћени шаржни и континуални експерименти. Представљени су излази из експеримената у виду приноса биогаза, кинетике процеса, као и синергистичких деловања кроз хемијску потрошњу кисеоника

и испарљиве чврсте честице. На крају су дате основе математичког моделирања процеса ко/дигестије.

Треће поглавље обухвата теоријске поставке процеса ко/дигестије у широком обиму. Дефинисани су стандардни протокол, карактеристике супстрата и инокулума, као и фазе процеса. Дат је осврт на употребу канализационог муља и отпада од хране у анаеробном процесу ко/дигестије након чега су наведени њени основни параметри. У оквиру ограничења процеса представљене су инхибиторне супстанце, стварање пене, као и њена контрола. Поменути су предтретмани који се употребљавају за ко/дигестију као и микро нутријенти који су неопходни за њено функционисање. Дигестори, као реактори у којима се читав процес одвија, обрађени су посебним потпоглављем.

У четвртном поглављу описани су сви коришћени материјали, њихово порекло, као и основне физичко-хемијске карактеристике. Описана је експериментална поставка, поступак извођења експеримента и мерење излазних параметара. Наведене су методе коришћене у поступку извођења експеримента, као и модели употребљени за прорачунавање кинетике процеса.

Пето поглавље даје резултате у погледу приноса биогаса нормализованог на два начина, кинетику процеса кроз величине које дефинишу Конов, Гомперцов и модел првог реда и баланс хемијске потрошње кисеоника. Анализирани су приноси биогаса и извршено је поређење добијених резултата са литературним подацима из истих или сличних експеримента, док су константа хидролизе, максимална стопа продукције и фаза кашњења дате за сваки експеримент појединачно. Моделирани ток производње је поређен са током стварне продукције, дискутована су одступања и закључено је добро поклапање. Коначно, синергистички ефекат је потврђен и описан кроз баланс хемијске потрошње кисеоника.

У шестом поглављу дати су општи и појединачни закључци примењени на ЦППОВ Цветојевац, предлог примене и провере модела, као и правци будућих истраживања.

На крају је дат списак литературе коришћене приликом израде ове докторске дисертације.

6. Научни резултати докторске дисертације

Кандидат Никола Ракић, маг. инж. маш. у оквиру докторске дисертације извршио је анализу и синтезу података из великог броја литературних извора који се баве облашћу ко/дигестије, избором ко/супстрата и њеном применом и ограничењима. Такође, извршио је анализу и синтезу прикупљених информација на основу прегледа литературе која се бави методама и моделима примењеним на поступак кодигестије. У докторској дисертацији је јасно приказан ток експеримента, као и интерпретација резултата добијених мерењем, анализом и употребом одабраних модела.

Примарни научни резултат докторске дисертације представља развој оригиналног математичког модела базираног на свакодневним експерименталним мерењима. Модел претпоставља принос биогаса у функцији тренутне вредности хемијске потрошње кисеоника. Линеарног је карактера, након елиминације временског

параметра. Линеарност је последица експоненцијалне функције која описује редуцију хемијске потрошње кисеоника и логаритамске функције која описује продукцију биогаса током времена. Модел је предложен за коришћење у постројењима пуног обима и континуалним процесима ради даље валидације. Секундарни научни резултат јесте експериментално формирана једначина која дефинише појединачну производњу биогаса било ког ко/супстрата у кодигестивној смеси. Наиме, она уврштава масу хемијске потрошње кисеоника додату у кодигестивну смешу и масу хемијске потрошње кисеоника додату у појединачну, такозвану монодигестију истог тог ко/супстрата, односно њихов однос. Трећи члан једначине представља производњу биогаса у монодигестији, која множи однос маса и тиме комплетира излаз - запремину биогаса добијену кодигестирањем ко/супстрата (изабраног за анализу). Терцијарни научни допринос представљају резултати добијени мерењем и моделирањем попут специфичних продукција биогаса, рН вредности, кинетичких и синергистичких својстава, који се добро или веома добро уклапају у међународну научну литературу.

7. Примењивост резултата у теорији и пракси

Резултати докторске дисертације кандидата Николе Ракића, маг. инж. маш., под називом **“Повећање енергетске ефикасности у постројењима за третман отпадних вода оптимизацијом процеса кодигестије”**, применљиви су и корисни, како у теорији, тако и у пракси. Предложени модел представља ново сазнање из области предвиђања производње биогаса у процесу кодигестије.

Остварене резултате у оквиру докторске дисертације је могуће применити на следеће начине:

- Једнозначно дефинисати почетне запремине ко/супстрата за кодигестију,
- Експериментално оптимизовати однос муља и отпада од хране,
- Добијеном једначином тачно израчунати принос појединачних ко/супстрата у кодигестији,
- Моделом предвиђати производњу биогаса у дигестору на основу вредности хемијске потрошње кисеоника.

8. Начин презентовања резултата научној јавности

Научни резултати који су проистекли при изради ове докторске дисертације презентовани су објављивањем једног рада у истакнутом међународном научном часопису, као и на међународним и националним конференцијама. Кандидат је као непосредни резултат рада на дисертацији публиковао два рада на којима је први аутор и два рада на којима је коаутор:

Категорија M22:

1. **Rakić N., Šušteršič V., Gordić D., Jovičić N., Bošković G., & Bogdanović I.,** Characteristics of Biogas Production and Synergistic Effect of Primary Sludge and Food Waste Co-Digestion. *Bioenergy Research*, ISSN 1939-1234, 2023
<https://doi.org/10.1007/s12155-023-10620-8>

Категорија М33:

2. **Rakić N.**, Šušteršič V., Gordić D., Josijević M., Jurišević N., Nikolić J., Inoculum to substrate ratio: Calculating methods, *XXXV Međunarodno savetovanje Energetika 2020*, Zlatibor, 2020, 21-24. jun, pp. 285-291, ISBN 978-86-86199-02-7
3. Šušteršič V., Aleksić N., **Rakić N.**, Josijević M., Wastewater as a new source of energy, *16th International Conference on Accomplishments in Mechanical and Industrial Engineering, DEMI 2023*, Banja Luka, 2023, 1-2 June, ISBN: 978-99938-39-92-7

Категорија М52:

4. Aleksić N., Šušteršič V., **Rakić N.**, Gordić D., „Potrošnja energije i primena obnovljivih izvora energije u postrojenjima za tretman otpadnih voda“, *Energija - ekonomija - ekologija*, Vol.24, No.3, pp. 7-15, ISSN 0354-8651, Doi 10.46793/EEE22-3.07A, 2022

Комисија сматра да истраживања и резултати ове докторске дисертације представљају користан материјал за даљу публикацију радова у међународним и националним часописима у областима енергетске ефикасности и анаеробне ко/дигестије.

ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ КОМИСИЈЕ

Докторска дисертација кандидата Николе Ракића, маг. инж. маш., под називом „Повећање енергетске ефикасности у постројењима за третман отпадних вода оптимизацијом процеса кодигестије“ и менторством проф. др Вање Шуштершич, ред. проф. одговара теми прихваћеној од стране Наставно-научног Већа Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу и одобреној од стране Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу.

Кандидат је у приказу свог рада користио одговарајућу стандардизовану стручну терминологију, док су структура докторске дисертације и методологија излагања у складу са универзитетским нормама. Докторска дисертација по квалитету, обиму и приказаним резултатима истраживања у потпуности задовољава законске услове и универзитетске норме прописане за израду докторске дисертације.

Кандидат је показао да влада методологијом научно-истраживачког рада и поседује способност системског приступа и коришћења литературе. При томе, кандидат је користећи своје образовање показао способност да сложеној проблематици приступи свеобухватно и маркира проблеме у циљу дефинисања суштинских закључака и добијању конкретних и применљивих резултата.

С обзиром на актуелност проблематике и остварене резултате, чланови Комисије сматрају да кандидат Никола Ракић, маг. инж. маш., и поднета докторска дисертација испуњавају све услове, који се у поступку оцене писаног дела докторске дисертације захтевају Законом о високом образовању, Статутом Универзитета у Крагујевцу и Статутом Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу.

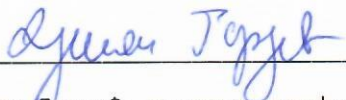
На основу свега наведеног, Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Никола Ракића, мастер инжењера машинства, предлаже Наставно-научном Већу Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу и Већу за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу да докторску дисертацију кандидата под називом:

“ПОВЕЋАЊЕ ЕНЕРГЕТСКЕ ЕФИКАСНОСТИ У ПОСТРОЈЕЊИМА ЗА ТРЕТМАН ОТПАДНИХ ВОДА ОПТИМИЗАЦИЈОМ ПРОЦЕСА КОДИГЕСТИЈЕ”

прихвате као успешно урађену и да кандидата позову на усмену јавну одбрану докторске дисертације.

У Крагујевцу и Нишу, 25.09.2023. године

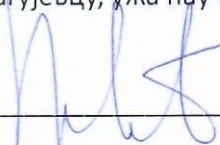
ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

1. 

др Душан Гордић, редовни професор – председник комисије, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, ужа научна област: Енергетика и процесна техника

2. 

др Горан Бошковић, доцент – члан комисије, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, ужа научна област: Енергетика и процесна техника

3. 

др Небојша Ловичић, редовни професор – члан комисије, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, ужа научна област: Енергетика и процесна техника

4. 

др Живан Спасић, доцент – члан комисије, Машински факултет Универзитета у Нишу, ужа научна област: Теоријска и примењена механика флуида

5. 

др Владимир Вукашиновић, ванредни професор – члан комисије, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, ужа научна област: Енергетика и процесна техника