

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФАКУЛТЕТА ИНЖЕЊЕРСКИХ
НАУКА
ВЕЋУ ЗА ТЕХНИЧКО-ТЕХНОЛОШКЕ НАУКЕ УНИВЕРЗИТЕТА
У КРАГУЈЕВЦУ

На седници Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука у Крагујевцу одржаној **21.06.2018.** (број одлуке: **01-1/1988-7**) и на седници Већа за техничко-технолошке науке одржаној **11.07.2018.** (број одлуке: **IV-04-573/9**) којом смо одређени као чланови Комисије за подношење извештаја за оцену научне заснованости теме и испуњености услова кандидата за израду докторске дисертације: **„ПОВЕЋАЊЕ ЕНЕРГЕТСКЕ ЕФИКАСНОСТИ У ПОСТРОЈЕЊИМА ЗА ТРЕТМАН ОТПАДНИХ ВОДА ОПТИМИЗАЦИЈОМ ПРОЦЕСА КОДИГЕСТИЈЕ“** у научној области енергетика и процесна техника кандидата **Николе Ракића, мастер инжењера машинства.** На основу података којима располажемо достављамо следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Научни приступ проблему предложеног нацрта докторске дисертације и процена научног доприноса крајњег исхода рада

У предложеном нацрту докторске дисертације кандидат је образложио предмет истраживања наводећи значај истраживања у области анаеробне ко-дигестије и повећање енергетске ефикасности постројења за третман отпадних вода кроз повећану производњу биогаса у дигесторима.

Третман индустријских и комуналних отпадних вода пре њиховог испуштања у животну средину био је један од првих еколошких изазова са којима су се суочавала модерна друштва. У том контексту, постројења за пречишћавање отпадних вода (ППОВ) граде се више од 50 година. Постројења за пречишћавање отпадних вода карактеришу висока ефикасност уклањања органских и хранљивих материја, али и висока потрошње енергије. Штавише, трошкови потрошње енергије износе око 30% укупних оперативних трошкова постројења за пречишћавање отпадних вода (Gracia Silvestre Tormo, 2015).

Повећање потрошње енергије за пречишћавање отпадних вода очекује се због све већих захтева за квалитетом третиране воде. Због тога се технолошки ходови морају усагласити како би се очекивано повећање могло умањити већом енергетском ефикасношћу и већим искоришћавањем енергије из муља насталог као отпад током процеса. У том смислу, могућности у истраживачким областима се односе на развој оперативних услова који доводе до оптимизације оних процеса који би могли побољшати њихов енергетски баланс.

Канализациони муљ (КМ) је главни отпад који настаје у постројењу за пречишћавање отпадних вода, а карактерише га велика концентрација органске материје, хранљивих материја, тешких метала и патогена. Због тога је неопходно применити третман пре енергетске валоризације или коначног одлагања. Трошкови менаџмента канализационог муља су обично високи и достижу до 50% укупних оперативних трошкова ППОВ (Rulkens et al., 2007). Муљ се састоји од разноликих чврстих честица суспендованих у нечистом континууму воде. У принципу, муљ има врло висок однос воде и чврстих материја, и релативно је хомоген. Чврсте честице у муљу отпадних вода су комплексне смеше органских (протеина, угљених хидрата, масти и уља) и неорганских материја (метала) и широког спектра живих и мртвих микроорганизама. Међутим, својства муља из отпадних вода су веома варијабилна, јер сваки талог из отпадних вода има специфично порекло и јединствене услове производње. Састав и својства муља су много променљивији од угља и класичне биомасе. Заправо, чак и муљ из истог ППОВ може варирати од једног дана до другог. Уопштено говорећи, карактеристике отпадног муља се ослањају на (Syed Shatir A. Syed-Hassan et al., 2017):

- карактеристике отпадних вода / оптерећење загађујућих материја које улазе у постројење за пречишћавање,
- систем третмана који се користи у ППОВ,
- законодавство о заштити животне средине,
- захтеве за рекултивацију воде,
- фаза обраде и
- сезонске варијације.

У том контексту, анаеробна дигестија постала је истакнута технологија која може стабилизovati КМ, а истовремено производити обновљиву енергију у облику биогаса. Овај произведен биогас би могао да обезбеди 40% до 70% потражње за електричном енергијом за ППОВ, у зависности од његовог пројектовања и рада (Shizas and Bagley, 2004). Анаеробна дигестија (АД) је процес у којем микроорганизми растављају биоразградиви материјал у одсуству кисеоника. Анаеробна дигестија се може користити код третмана различитих органских отпадака и прикупљања биоенергије у облику биогаса, која садржи углавном CH_4 и CO_2 . Метан би могао бити извор за производњу електричне енергије у комбинованим системима производње (когенерација) (Clemens et al., 2006). Различите стратегије за повећање производње биогаса у циљу постизања енергетске самодовољности ППОВ истражене су у последњих неколико година. Такође, напори се улажу и у побољшање перформанси дигестора који третирају различиту биомасу. Међу осталим, пред-третмани канализационог муља и ко-дигестија са другим супстратима су две стратегије које су добијале више пажње.

Ко-дигестија је симултана дигестија хомогене смеше две или више супстрата различитих органских отпадака са различитим пореклом и композицијама како би се што више

искористиле комплементарне карактеристике њиховог састава. Традиционално, анаеробна дигестија је била једносупстратни третман за једнократну употребу. Недавно је постало јасно да је АД стабилнија када се у исто време примењује различита подлога. Најчешћа ситуација је када се количина главног базног супстрата (нпр. муља отпадне воде) меша и разблажи мањим количинама појединачног или различитог додатног супстрата (Braun, 2002). Коришћење ко-супстрата обично побољшава принос биогаса анаеробног дигестора услед позитивних синергизама утврђених у дигестивном медију и снабдевањем недостајућих хранљивих материја од стране супстратора (Mata-Alvarez et al., 2000). Избор супстрата, његов састав и проценат сваког у мешавини су кључ успеха с обзиром да је неопходно:

- добити што бољи хемијски састав ради оптимизације биомасе укључене у анаеробни процес (однос угљеник/азот, рН вредност, итд.);
- избећи инхибицију различитих компоненти (амонијак, испарљиве масне киселине, полупроизводи, итд.);
- оптимизовати производњу метана.

На основу наведеног чињеничног стања, може се закључити да постоји значајан потенцијал који је неопходно пре свега детаљном анализом прецизно утврдити, а затим разматрати применом које технологије се утврђени потенцијал може искористити на енергетски ефикасан и еколошки прихватљив начин.

Веза са досадашњим истраживањима

Кандидат се у досадашњем научно-истраживачком раду бавио анализом комбиноване производње топлотне и електричне енергије као и могућностима за повећања енергетске ефикасности у разним секторима потрошње наведених облика енергије. То доказују радови, представљени на конференцијама и штампани у часописима управо из ове области. Сви публиковани радови припадају области енергетике и процесне технике и налазе се у области истраживања у којој се налази и предложена тема докторске дисертације. Стручни боровци и усавршавање у иностранству представљају добру основу за реализацију ове дисертације.

Рад у оквиру ове дисертације омогућава кандидату да оствари континуитет у свом истраживачком раду, што поред стручног усавршавања кандидата има за циљ и унапређење и усавршавање базе података и формирање модела који се односи на кључне детерминанте повећања еко-ефикасности у постројењима за третман отпадних вода, односно на мере и активности у циљу повећања енергетског искоришћења подлоге и ко-супстрата у дигесторима.

2. Образложење предмета, метода и циља који уверљиво упућују да је предложена тема од значаја за развој науке

Предмет, циљеви и хипотезе ове дисертације обухватају следеће

Предмет ове докторске дисертације представља креирање стратегије за раздвојено сакупљање биоразградивог отпада и развијање модела који ће симулирати процес кодигестије различитих типова биоразградивог отпада у анаеробном дигестору код постројења за третман отпадних вода. Као циљ поставља се проналажење оптималног односа биоразградивог отпада и канализационог муља из отпадних вода у процесу кодигестије заједно са различитим органским отпадом који може представљати алтернативу за достизање енергетских самодовољних постројења за пречишћавања отпадних вода, као и могућност за производњу вишка енергије у овим постројењима.

Основни научни циљ предложене докторске дисертације је формирање стратегије сакупљања биоразградивог отпада и математичког оптимизационог модела за утврђивање потенцијала производње биогаза кроз процес ко-дигестије биоразградивог отпада и канализационог муља и избор оптималне стратегије за максимално искоришћење система у зависности од циљне функције система. Развијени модел ће у предложеној дисертацији бити примењен на градско постројење за пречишћавање отпадних вода „Цветовевац“. Поред основног циља, током рада на предложеној дисертацији биће дефинисани кључни проблеми и недостаци који спречавају потпуно искоришћење енергије садржане у системима за третман вода у тренутним условима.

Математичко моделирање и формирање методологије за утврђивање оптималног односа биоразградивог отпада који би се користио у процесу ко-дигестије у постројењима за третман отпадних вода захтева следеће две основне хипотезе од којих се полази:

- Анализом хемијских процеса уз уважавање односа појединих елемената неопходних за њихово одвијање могуће је дефинисање свих кључних констатних и променљивих величина које ће бити улаз за математичку оптимизацију у циљу одређивања оптималне производње биогаза.
- Математичком оптимизацијом могуће је одредити све неопходне активности и мере које треба предузети у једном ППОВ како би се остварио што већи принос биогаза, кроз оптимизацију односа органске фракције у канализационом муљу и времена задржавања, при чему функција циља може да буде максимизација приноса биогаза, минимизација специфичних трошкова рада постројења, минимизација еколошког утицаја и сл.

Методe истраживања

Потенцијал продукције биогаза кроз процесе кодигестије у постројењима за третман отпадних вода биће процењен на основу анализе прикупљених података и имплементације података у модел развијен у оквиру дисертације. Методологија процене потенцијала приноса биогаза биће развијена на основу анализе досадашњих истраживања и интеграцијом више анализираних литерарно доступних методологија уз обавезне модификације неопходне ради прилагођавања конкретном типу ППОВ. Математичким моделом интегрисаним у методологију биће одређена оптимална технологија и описане све променљиве и константне величине које фигуришу у функцији циља. У зависности од задате функције циља, разматраће се више различитих сценарија. За математичку

оптимизацију биће коришћена нека од стандардних метода (линеарна математичка оптимизација, нелинеарна математичка оптимизација, IPPC модел) уз помоћ неког од софтверских пакета (MatLAB, C, C++, GAMS, ...).

Оквирни садржај докторске дисертације

Планирано је да докторска дисертација буде реализована кроз седам поглавља:

1. Увод
2. Преглед истраживања у области одабира, прикупљања и сепарације биоразградивог отпада
3. Преглед истраживања у области технологија за третман отпадних вода, анаеробне дигестије и кодигестије
4. Анализа хемијских процеса и токова енергије у дигесторима
5. Развој математичког модела за оптимално искоришће сировине у дигестору у зависности од задате циљне функције
6. Верификација развијене методологије и математичког модела на студији случаја
7. Закључак

3. Образложење теме за израду докторске дисертације које омогућава закључак да је у питању оригинална идеја или оригиналан начин анализирања проблема

Комисија закључује да је предложена тема докторске дисертације, са образложеним предметом и циљевима рада, научним доприносима и очекиваним резултатима, насталим детаљном анализом доступних научних радова у научном и стручном смислу оригинална идеја.

4. Усклађеност дефиниције предмета истраживања, основних појмова, предложене хипотезе, извора података, метода анализе са критеријумима науке уз поштовање научних принципа у изради коначне верзије докторске дисертације

Кандидат Никола Ракић ће у својој докторској дисертацији обухватити све елементе савременог научно-истраживачког рада поштујући основне критеријуме науке, научних циљева и метода анализе, имплементацијом постојећих и развијањем оригиналних идеја научног истраживања.

У достављеној пријави теме, кандидат се служио одговарајућом терминологијом из области која је предмет рада. Дефиниција предмета истраживања је усклађена са

основним појмовима, предложеним хипотезама и методама истраживања. Кандидат је показао изразиту способност за селекцију и анализу литературних извора.

Обзиром на то да су циљеви истраживања проистекли из запажених недостатака и недовољне изражености проблема, добијени резултати представљали би оригиналан допринос истраживачкој области.

5. Преглед научно-истраживачког рада кандидата

а. Кратка биографија кандидата

Кандидат Никола Ракић рођен је 06.08.1987. године у Крагујевцу. Основну школу „Драгиша Луковић - Шпанац“ у Крагујевцу завршио је са одличним успехом, а школовање је потом наставио као ђак „Прве крагујевачке гимназије“, коју је успешно завршио 2006. године. Основне академске студије у трајању од три године на Машинском факултету у Крагујевцу (сада Факултет инжењерских наука) уписао је 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“.

Дипломске академске студије у трајању од две године, уписао је 2009. године на Машинском факултету Универзитета у Крагујевцу, смер Енергетика и процесна техника. Исти ниво студија завршио је 27.10.2011. одбраном мастер рада из предмета „Процесни апарати и постројења“, на смеру Енергетика и процесна техника (сада 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 интердисциплинарног истраживања 42013.

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 је 01.12.2011. године под менторством проф. др Милуна Бабића, сада 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 следећих предмета: Хидрауличне и пнеуматске машине, Енергија и животна средина, Механика флуида, Основи процесних апарата и постројења, Процесни апарати и постројења.

б. Научно-истраживачки рад

Као аутор или коаутор објавио је укупно 17 радова у научно-стручним часописима као и на међународним и домаћим научно-стручним скуповима.

1. Mladen M. Josijević, Dušan R. Gordić, Dobrica M. Milovanović, Nebojša M. Jurišević, **Nikola Ž Rakić**: 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, 2017, ISSN: 0354-9836, doi: 10.2298/TSCI161209118J [M22]
2. **Nikola Rakić**, Milan Popovic, Dusan Canovic, Nebojsa Jovicic, Milun Babic: 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, Kragujevac, 2013, 24th May, pp. 279 - 284, ISBN: 978-86-86663-94-8 [M33]
3. Nebojša Jurišević, Vanja Šušteršič, Dušan Gordić, **Nikola Rakić**: Overview of Air Quality Legislation and Monitoring of Measurement Zone Serbia, 9th International Quality Conference, Center for quality, Faculty of Engineering, Kragujevac, 2015, 4th – 5th Jun, pp. 145 - 151, ISBN: 978-86-633-015-1 [M33]
4. Dušan R. Canović, Milan S. Popović, **Nikola Ž. Rakić**, Gordana R. Jovičić, Milun J. Babić: Istraživanje tehno - ekonomskih preduslova i mogućnosti za implementaciju malih kogenerativnih postrojenja sa gasnim motorima na lokacijama novoizgrađenih i reprojektovanih rejonskih energana Energetika d.o.o Kragujevac, Energija, List Saveza energetičara, ISSN: 0354-8651 vol. 15, no. 1-2, pp. 60-66, 2013. [M51]
5. **Nikola Ž. Rakić**, Dušan R. Canović, Milan S. Popović, Dušan R. Gordić, Milun J. Babić: Tehno - ekonomski aspekti i mogućnost implementacije parnog kogeneracionog ciklusa na postojeća kotlovska postrojenja u energani "Energetika" Kragujevac, Energija, List Saveza energetičara, ISSN: 0354-8651, vol. 15 no. 3-4, pp. 289 - 297, 2013. [M51]
6. Dušan R. GORDIĆ, Milan S. POPOVIĆ, Dušan R. CANOVIĆ, **Nikola Ž. RAKIĆ**, Mladen M. JOSIJEVIĆ: Tehnologija sakupljanja i geološkog skladištenja CO₂ - CCS tehnologija, Energija, List Saveza energetičara, ISSN: 0354-8651, vol. 16 no. 1-2, pp. 265 - 271, 2014. [M51]

7. Небојша Јуришевић, Вања Шуштершич, Душан Гордић, Милун Бабић, **Никола Ракић**, Слободан Савић, Душан Цановић: Анализа и мониторинг квалитета ваздуха мерне зоне Србија у току календарске 2013.г., Енергија, Лист Савеза енергетичара, ISSN: 0354-8651, vol. 3-4 no. 17, pp. 197 - 204, 2015. [M51]
8. Dušan Canović, Nebojša Jovičić, Milan Popović, Mladen Josijević, **Nikola Rakić**, Nebojša Jurišević, Milun Babić: Istraživanje tehnoloških preduslova, mogućnosti i opravdanosti za iskorišćenje deponijskog gasa sa deponije komunalnog otpada u Kragujevcu, Energija, List Saveza energetičara, ISSN: 0354-8651, vol. 3-4 no. 17, pp. 319 - 326, 2015. [M51]
9. Mladen Josijević, Nenad Andrić, Dušan Canović, **Nikola Rakić**, Dušan Gordić: Energetska efikasnost sistema za grejanje sanitarne vode sa solarnim kolektorima na objektima Kliničko bolničkog centra u Kragujevcu, Energija, List Saveza energetičara, ISSN: 0354-8651, vol. 17 no. 3-4, pp. 341 - 347, 2015. [M51]
10. **Никола Ракић**, Небојша Јуришевић, Милун Бабић, Наташа Ђоковић: Технологије складиштења електричне енергије, Енергија, Лист Савеза енергетичара, ISSN: 0354-8651, vol. 18 no. 1-2, pp. 56 - 63, 2016. [M51]
11. Небојша Јуришевић, Младен Јосијевић, **Никола Ракић**, Александар Миловановић: Специфична потрошња финалне енергије у предшколским установама у Крагујевцу, Енергија, Лист Савеза енергетичара, ISSN: 0354-8651, vol. 18 no. 1-2, pp. 390 - 396, 2016. [M51]
12. Dubravka Živković, Davor Končalović, Jasmina Skerlić, Vladimir Vukašinović, Mladen Josijević, **Nikola Rakić**: Implementacija koncepta značajne energetske sanacije zgrada u EU i Srbiji, Energija, List Saveza energetičara, ISSN: 0354-8651, vol. 20 no. 1-2, pp. 148 - 156, 2018. [M51]
13. Младен Јосијевић, **Никола Ракић**, Вања Шуштершич, Душан Гордић, Владимир Вукашиновић, Дубравка Живковић: Технологије складиштења топлотне енергије, Енергија, Лист Савеза енергетичара, ISSN: 0354-8651, vol. 20 no. 1-2, pp. 236 - 242, 2018. [M51]
14. **Nikola Rakić**, Vanja Šušteršič, Dušan Gordić: Power-to-gas (P2G) process: Basics, Energija, List Saveza energetičara, ISSN: 0354-8651, vol. 20 no. 1-2, pp. 429 - 434, 2018. [M51]
15. **Rakić, N.**, Canović, D., Jurišević, N., Šušteršič, V., Babić, M. : Kombinovana proizvodnja toplotne i električne energije kogenerativnim gasnim modulom „VITOBLOC 200 EM 20/39“, Traktori i pogonske mašine, Naučno društvo za pogonske mašine, traktore i održavanje, ISSN: 0354-9496, vol. 19 no. 4, pp. 54 - 60, 2014. [M52]
16. Milan Popović, Dušan Canović, **Nikola Rakić**, Goran Bošković, dr Nebojša Jovičić, Postrojenje za mehaničko-biološki tretman otpada kao eko održivo rešenje za upravljanje otpadom u Kragujevcu, Festival kvaliteta - 8. Nacionalna konferencija o kvalitetu života,

Fakultet inženjerskih nauka, Centar za kvalitet, Kragujevac, 2013, 23 – 25. maj, pp. A322 – A332, ISBN: 978-86-86663-93-1 [M63]

17. Dušan Canović, Milan Popović, **Nikola Rakić**, Marko Milašinović, dr Nebojša Jovičić, Istraživanje tehno-ekonomskih preduslova, mogućnosti za izgradnju i uticaja na kvalitet životne sredine transfer stanice na deponiju u Kragujevcu, Festival kvaliteta - 8. Nacionalna konferencija o kvalitetu života, Fakultet inženjerskih nauka, Centar za kvalitet, Kragujevac, 2013, 23 – 25. maj, pp. A334 – A342, ISBN: 978-86-86663-93-1 [M63]

На основу свега наведеног у претходним тачкама овог извештаја Комисија доноси следећи

ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ КОМИСИЈЕ

Никола Ракић, мастер инжењер машинства, испунио је све предвиђене услове за одобрење израде докторске дисертације.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу и Већу за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу да наведену предложену тему за докторску дисертацију:

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

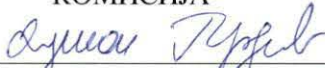
прихвати и одобри њену израду кандидату **Николи Ракићу, мастер инжењеру машинства.**

Комисија предлаже да ментор ове докторске дисертације буде др Вања Шуштершич, редовни професор, Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу.

У Крагујевцу,

Датум: 12.07.2018.

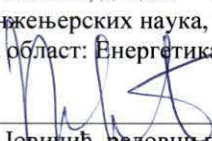
КОМИСИЈА



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



др Горан Бошковић, доцент – члан
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу
Ужа научна област: Енергетика и процесна техника



др Небојша Јовичић, редовни професор – члан
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу
Ужа научна област: Енергетика и процесна техника



др Живан Спасић, доцент – члан
Машински факултет, Универзитет у Нишу
Ужа научна област: Теоријска и примењена механика флуида



др Вања Шуштершич, редовни професор – члан
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу
Ужа научна област: Енергетика и процесна техника