

Факултет Технолошко-металуршки

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

35/334

(Број захтева)

12.1.2023.

(Датум)

Веће научних области техничких наука

(Назив већа научне области коме се захтев упућује)

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на одлуке о усвајању извештаја Комисије за оцену докторске дисертације и о именовању комисије за одбрану

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тач. 4. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета", број 186/15-пречишћени текст и 189/16), дате сагласност на одлуку о усвајању извештаја Комисије за оцену докторске дисертације:

КАНДИДАТ Amit (Parashu Ram Jaiswal) Kumar

(име, име једног од родитеља и презиме)

студент докторских студија на студијском програму : Инжењерство заштите животне средине

пријавио је докторску дисертацију под називом:

Развој и карактеризација плазма система на атмосферском притиску за прераду отпадне воде
(Design, Development and Characterization of Atmospheric Plasma System for Wastewater Treatment)

Технолошко инжењерство

из научне области:

Универзитет је дана 19.01. 2022. својим актом под бр. 61206-178//2-22 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

Развој и карактеризација плазма система на атмосферском притиску за прераду отпадне воде
(Design, Development and Characterization of Atmospheric Plasma System for Wastewater Treatment)

Име и презиме ментора: др Драган Повреновић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет,

Име и презиме ментора 2: др Волфганг Герњак, редовни професор Универзитета у Ђирони, Шпанија, Каталонски институт за истраживање воде.

Комисија за оцену докторске дисертације именована је на седници одржаној 20.09.2022.

одлуком факултета под бр. 35/228, у саставу:

	Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1.	Др Владимир Павићевић	ванредни професор	Инжењерство заштите животне средине	ТМФ
2.	Др Ивона Радовић	редовни професор	Хемијско инжењерство	ТМФ
3.	Др Зоран Петровић	Академик САНУ	Електротехника	Српска академија наука и уметности
4.	Др Јелена Рађеновић	научни саветник	Инжењерство заштите животне средине	Универзитет у Ђирони, Каталонски институт за истраживање воде, Шпанија
5.	Др Сара Родригез-Мозаз	виши научни сарадник	Инжењерство заштите животне средине	Универзитет у Ђирони, Каталонски институт за истраживање воде, Шпанија
6.	Др Зденко Махала	редовни професор	Физика	Универзитет Комениус, Братислава, Словачка

Напомена: уколико је члан Комисије у пензији навести датум пензионисања.

Датум стављања извештаја Комисије и докторске дисертације на увид јавности **16.11.2022.**

Наставно-научно веће факултета усвојило је извештај Комисије за оцену докторске дисертације на седници одржаној дана **29.12.2022.**

Комисија за одбрану докторске дисертације именована је на седници одржаној **29.12.2022.**

одлуком факултета под бр. 35/336, у саставу:

	Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1.	Др Владимир Павићевић	ванредни професор	Инжењерство заштите животне средине	ТМФ
2.	Др Ивона Радовић	редовни професор	Хемијско инжењерство	ТМФ
3.	Др Зоран Петровић	Академик САНУ	Електротехника	Српска академија наука и уметности
4.	Др Јелена Рађеновић	научни саветник	Инжењерство заштите животне средине	Универзитет у Ђирони, Каталонски институт за истраживање воде, Шпанија
5.	Др Сара Родригез-Мозаз	виши научни сарадник	Инжењерство заштите животне средине	Универзитет у Ђирони, Каталонски институт за истраживање воде, Шпанија
6.	Др Зденко Махала	редовни професор	Физика	Универзитет Комениус, Братислава, Словачка

Напомена: уколико је члан Комисије у пензији навести датум пензионисања.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА
др Петар Ускоковић, редовни професор

- Прилози:
1. Одлука Наставно-научног већа о усвајању извештаја Комисије за оцену докторске дисертације и одлука о именовању Комисије за одбрану докторске дисертације
 2. Извештај Комисије о оцени докторске дисертације
 3. Примедбе на извештај Комисије о оцени докторске дисертације (уколико их је било) и мишљење Комисије о примедбама

Напомена: Факултет доставља Универзитету захтев са прилозима у електронској форми и у једном писаном примерку за архиву Универзитета

На основу чл. 40. став 3. Закона о високом образовању, чл. 112. став 3. Статута Универзитета у Београду, чл. 88. став 3. Статута ТМФ-а и чл. 52. Правилника о докторским студијама ТМФ, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 29.12.2022. године, донета је

О Д Л У К А

о прихватању Реферата о оцени докторске дисертације

Прихвата се Реферат Комисије у саставу: др Владимир Павићевић, ванредни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Ивона Радовић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Зоран Петровић, академик Српске академије наука и уметности, Београд, др Јелена Рађеновић научни саветник Универзитета у Ђирони, Шпанија, Каталонски институт за истраживање воде, др Сара Родригез-Мозаз, виши научни сарадник Универзитета у Ђирони, Шпанија, Каталонски институт за истраживање воде и др Зденко Махала, редовни професор Универзитета Комениус, Братислава, Словачка, о прегледу и оцени урађене докторске дисертације под називом: „**Развој и карактеризација плазма система на атмосферском притиску за прераду отпадне воде (Design, Development and Characterization of Atmospheric Plasma System for Wastewater Treatment)**“ коју је поднео **Амит Кумар**, мастер инжењер технологије и упућује се на сагласност Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду. Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације Амита Кумара, под називом „**Развој и карактеризација плазма система на атмосферском притиску за прераду отпадне воде (Design, Development and Characterization of Atmospheric Plasma System for Wastewater Treatment)**“ Одлуком број: 61206-178/2-22 од 19.01.2022. године.

Верификација научних доприноса:

Категорија M21a:

1. **Amit Kumar**, Nikola Škoro, Wolfgang Gernjak, Olivera Jovanović, Anđelija Petrović, Suzana Živković, Elisabeth Cuervo Lumbaque, Maria José Farré and Nevena Puač, *Degradation of pharmaceuticals in aqueous solution by using cold atmospheric plasma source*, Submitted in the journal of Science of The Total Environment, **under review** (2022), IF = 10,753, ISSN 1879-1026.

Категорија M22:

2. **Amit Kumar**, Nikola Škoro, Wolfgang Gernjak, Dragan Povrenović and Nevena Puač, *Direct and indirect treatment of organic dye (acid blue 25) solutions by using cold atmospheric plasma jet*, Frontiers in Physics, 10 (2022) 835635, IF = 3,718, ISSN 2296-424X, doi: 10.3389/fphy.2022.835635.
3. **Amit Kumar**, Ananthanarasimhan J, Anand M Shivapuji, S Dasappa and Lakshminarayana Rao, *Experimental investigation of a non-catalytic cold plasma water-gas shift reaction*, J Phys D Appl Phys, 53 (2020), 465205, IF = 3,409, ISSN 1361-6463, doi: 10.1088/1361-6463/aba92d.

Категорија M23:

4. **Amit Kumar**, Nikola Škoro, Wolfgang Gernjak and Nevena Puač, *Cold atmospheric plasma technology for removal of organic micropollutants from wastewater – a review*, Eur Phys J D, 75 (2021) 1-26, IF = 1,611, ISSN 1434-6060, doi: 10.1140/epjd/s10053-021-00283-5.

Одлуку доставити: Већу научних области техничких наука Универзитета, менторима, Служби за наставно-студентске послове, Библиотеци и Архиви факултета.

Д Е К А Н

Проф. др Петар Ускоковић

ДV

На основу чл. 40. став 3. Закона о високом образовању, чл. 112. став 3. Статута Универзитета у Београду, чл. 88. став 3. Статута ТМФ-а и чл. 52. Правилника о докторским студијама ТМФ, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 29.12.2022. године, донета је

О Д Л У К А

о именовању Комисије за одбрану докторске дисертације

Именује се Комисија за одбрану докторске дисертације **Амита Кумара**, мастер инжењера технологије, са темом под називом „Развој и карактеризација плазма система на атмосферском притиску за прераду отпадне воде(Design, Development and Characterization of Atmospheric Plasma System for Wastewater Treatment)“, у саставу:

- 1.Др Владимир Павићевић, ванредни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет,
- 2.Др Ивона Радовић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет,
- 3.Др Зоран Петровић, академик Српске академије наука и уметности, Београд,
- 4.Др Јелена Рађеновић научни саветник Универзитета у Ђирони, Каталонски институт за истраживање воде, Шпанија,
- 5.Др Сара Родригез-Мозаз, виши научни сарадник Универзитета у Ђирони, Каталонски институт за истраживање воде, Шпанија,
- 6.Др Зденко Махала, редовни професор Универзитета Комениус, Братислава, Словачка.

Одлуку доставити: Одлуку доставити: члановима Комисије, Универзитету у Београду, Служби за наставно-студентске послове и Архиви Факултета.

Д Е К А Н

Проф. др Петар Ускоковић

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКИ ФАКУЛТЕТ
НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Амита Кумара, мастер инж. технологије

Одлуком бр. 35/228 од 20.09.2022.године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Амита Кумара, мастер инж. технологије под насловом:

Развој и карактеризација плазма система на атмосферском притиску за прераду отпадне воде

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

Школске 2019/2020, кандидат Амит Кумар, мастер технологије уписује докторске академске студије на Технолошко-металуршком факултету, Универзитета у Београду, студијски програм Инжењерство заштите животне средине.

29.06.2021- На седници Наставно-научног већа донета је одлука бр. 35/153 о именовању Комисије за оцену подобности теме под називом Развој и карактеризација плазма система на атмосферском притиску за прераду отпадне воде, и подобности кандидата Амита Кумара, мастера технологије, за израду докторске дисертације.

23.12.2021. - На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду донета је одлука бр. 35/370 о прихватању Реферата Комисије за оцену подобности теме под називом: Развој и карактеризација плазма система на атмосферском притиску за прераду отпадне воде и кандидата за израду докторске дисертације Амита Кумара, мастера технологије, а за ментора ове докторске дисертације именован је проф. др Драган Повреновић, редовни професор, Универзитета у Београду, Технолошко-металуршког факултета.

19.01.2022. - На седници Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду донета је одлука (одлука 02 бр: 61206-178/2-22 тсн) о давању сагласности на предлог теме докторске дисертације Амита Кумара, мастера технологије, под називом: Развој и карактеризација плазма система на атмосферском притиску за прераду отпадне воде.

02.06.2022. На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета у Београду донета је одлука бр. 35/129 да се именује и коментор др Волфганг Герњак, ИКРА, Универзитет у Бирони, Шпанија.

04.07.2022. - На седници Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду донета је одлука (одлука 02 бр: 61206-2828/2-22 тсн) на захтев кандидата да се за другог ментора именује др Волфганг Герњак.

20.09.2022. - На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета у Београду донета је одлука бр. 35/228 о именовању Комисије за оцену докторске дисертације Амита Кумара, мастера

технологије под називом: Развој и карактеризација плазма система на атмосферском притиску за прераду отпадне воде.

1.2. Научна област дисертације

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Технолошко инжењерство и ужој научној области Инжењерства животне средине, за коју је Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду матична установа. Ментор кандидата, проф. др Драган Повреновић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду и коментор др Волфганг Герњак, ИКРА, Универзитет у Ђирони, Шпанија, су на основу научног искуства и објављених научних радова компетентни да руководе изработком ове докторске дисертације.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Амит Кумар је рођен 1992. године у Утар Прадешу, Индија. 2014. године стекао је диплому инжењера машинства код др А.П.Ј. Технички универзитет Абдул Калам у Лакнау, Индија. Магистрирао је одрживу технологију у Центру за одрживе технологије (Одсек за механичке науке) на Индијском институту за науку (ИИН) у Бангалору, Индија са магистарском тезом „Експериментално истраживање некаталитичке реакције померања воде-гас са хладном плазмом". Након стицања магистарске дипломе радио је као истраживач-приправник у Лабораторији за погон гасификације сагоревања, ИИН, Индија.

У децембру 2019. изабран је као докторант у оквиру пројекта MSCA-ITN-H2020 Nowelties. У оквиру програма двоструких доктората започео је докторске студије (European Joint Doctorates) на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду (Србија) и Каталонском институту за истраживање вода Универзитета у Ђирони (Шпанија). Запослен је у Институту за физику Београд од децембра 2019. године. Обавезан боравак у партнерској институцији у оквиру докторске дисертација је био 7 месеци (2021-2022) у Каталонском институту за истраживање вода.

Амит Кумар је објавио четири рада у међународним часописима (M22, M23) и један који је у току процеса рецензирања (M21a). Такође, има 6 саопштења на ремираним међународним конференцијама.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Циљ ове докторске дисертације је био пројектовање, развој и карактеризација multi-pin-АППЈ система за пречишћавање отпадних вода. Дисертација је подељена у седам поглавља. Оквир и циљ дисертације су теме које се обрађују у првом поглављу (**Introduction**). Друго поглавље (**Literature review on wastewater**) се бави прегледом литературе и научних достигнућа из области пречишћавања отпадних вода, учесталости и класификацију органских загађивача (ОМП-а) као и третманом ОМП-а коришћењем одређених доступних АОП-а (антиоксидативних процеса). Треће поглавље (**Cold atmospheric plasma technology**) покрива основе технологије плазме, као и тренутно стање научних достигнућа у интеракцији плазма-течност. Покрива преглед литературе о третману ОМП на бази хладне атмосферске плазме (као што су фармацеутски производи, органске боје и пестициди), са фокусом на изворе плазме, подешавање реактора и различите радне параметре који утичу на деградацију ОМП. Након пружања уводних информација о неколико врста извора плазме, ово поглавље даје детаље о методологијама које се користе за разградњу органских боја, фармацеутских производа и пестицида.

Четврто поглавље (Materials and methods) описује материјал и методе коришћене у дисертацији: који ОМП су изабрани као мете (Acid Blue 25, Disperse Red 1, Diclofenac, Para-Chlorobenzoic), коришћене изворе плазме, експерименталне поставке, инструменталну опрему и аналитичке процедуре.

Пето поглавље (**Treatment of contaminated water by using Pin-electrode atmospheric pressure plasma jet**) обухвата електричну и оптичку дијагностику пин-АППЈ, као и третман различитих ОМП и параметарске анализе код којих се испитивао утицај концентрације загађивача, времена третмана и предте снаге плазми.

Електрична и оптичка дијагностика multi-pin-АППЈ система испитивана је у шестом поглављу (**Treatment of contaminated water by using Multi-needle electrodes atmospheric pressure plasma jet**). Разматрено је како системе за рецикулацију воде утиче на уклањање ОМП из воде. У шестом поглављу је такође било речи о производима трансформације добијеним из диклофенака.

На крају, у седмом поглављу (**Summary, conclusion and future work**), дати су закључци и размотрене су теме за будући рад на третману отпадних вода на бази хладне плазме.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Загађење воде се тренутно сматра једним од најважнијих еколошких проблема на глобалном плану.

Органски микрозагађивачи (ОМП) су нова врста загађивача који се налазе у различитим водама и имају потенцијал да утичу на живот у води, пољопривреду и здравље људи. Неки ОМП немогу бити елиминисани применом конвенционалних конвекцијских постројења за пречишћавање отпадних вода, што доводи до тога да загађивачи заврше у животној средини. С тим у вези, актуелна су истраживања где се неколико напредних процеса оксидације (АОР) користе као ефикасне додатне технике третмана отпадних вода. Хладна атмосферска плазма је АОР без хемикалија који је недавно препознат као ефикасна и обећавајућа технологија за уклањање ОМП из отпадних вода.

Хладна атмосферска плазма је извор различитих реактивних врста у амбијенталним условима који имају потенцијалне примене у комерцијалним и научним истраживањима, као што су третмани воде, пољопривреда, биомедицинска деконтаминација површина и још много тога. У случају третмана воде, интеракција плазме и течности може да генерише хемијски богате реактивне врсте као што су хидроксилни радикал ($\text{HO}\cdot$), атомски кисеоник ($\text{O}\cdot$), водоник пероксид (H_2O_2), озон (O_3) и тако даље. Ово су најважнији и најјачи оксиданти који могу изазвати оксидацију и уништавање ОМП-а у води.

У овој тези, два одвојена извора хладне атмосферске плазме познати као плазма млаз на атмосферском притиску (APPJ) са једном шиљастом електродом и 3 шиљасте електроде (такође назван као мултиелектродни систем) су коришћени за истраживање деградације ОМП у води. APPJ са више електрода са рецикулацијским системом је такође испитиван у тези у циљу оптимизације контактне површине плазме и течности и деградације ОМП-а.

У оба случаја, плазма је реализована уз помоћ високонапонског радиофреквентног (РФ) напајања, а као радни гас је изабран аргон. Користећи извор плазме на површини течности која је у контакту са околним ваздухом настала је аргонска плазма. Плазма систем је карактерисан из помоћ електричних и оптичких техника. Помоћу напонских и струјних сонди испитани су радни параметри електричног пражњења (напон и струја). Депоновање снаге у два различита дела кола (на извору и у контакту са узорком) је добијено коришћењем симљених сигнала напона и струје. Оптичка емисиона спектроскопија (OES) и камера са интензивираним детектором коришћене су за оптичку карактеризацију плазме. OES технике су коришћене за различите радне параметре да би се испитала производња различитих реактивних врста формираних у гасној фази тј. у пражњењу. Оптички емисиони спектри су потврдили присуство различитих реактивних

врста кисеоника и азота (RONS) у пражњењу. За добијање спектрално и временски разложених слика плазме коришћена је камера са сочивом транспарентним у делу УВ спектра. Камера је коришћена у комбинацији са различитим филтерима из УВ и видљивог опсега да би се снимила просторна дистрибуција емисије различитих RONS и побуђеног аргона у плазми.

У овом истраживању, четири различита OMP су изабрана као циљни загађивачи који су третирани плазмом: две органске боје (AB25 боја и DR1 боја) и два фармацеутска производа (диклофенак и пара-хлоробензојева киселина). Третмани су спроведени узимајући у обзир различите експерименталне параметре као што су почетна концентрација загађивача, време третмана плазмом, запремина третираног раствора, улазна снага плазме и растојање између извора плазме и узорка. Карактеризација узорака третираних плазмом је обављена коришћењем спектрофотометра, HPLC и LC-MS технике. Такође је мерен pH и проводљивости раствора третираних плазмом. Резултати су упоређени са неколико кинетичких модела да би се истражили различити типови редоследа деградације и израчунала брзина оксидације одабраних OMP. Према налазима студије, плазма је уклонила све поменуте загађиваче, сваки кроз специфичан образац разлагања. У поређењу са остала три OMP-а диклофенак је показао највећи степен деградације. Израчунат је и енергетски принос, што је важна мера за одређивање енергетске ефикасности плазма система. Израчунат је енергетски принос за уклањање 50% загађивача, а највећи енергетски принос био је 6465 mg/kWh за разградњу диклофенака.

Поред тога у овој студији је загађивач AB25 боја третиран индиректно при чему плазма није била у додиру са раствором боје већ је коришћена вода активираним плазмом (PAW). PAW је произведен у третману дестиловане воде плазмом, а затим помешан са воденим раствором који садржи боју и након тога праћен током неколико дана да би се идентификовала улога дугоживећих реактивних врста у деградацији боје. PAW је мешавина многих стабилних RONS који могу допринети разградњи боје у води. Пошто PAW садржи различите RNS, он истовремено може играти суштинску улогу и у деконтаминацији и у пољопривреди.

Експериментални резултати показују да се AOP-и засновани на хладној атмосферској плазми могу користити за ефикасно уклањање различитих OMP-а из воде. Третман заснован на хладној атмосферској плазми има значајан потенцијал као јединствен приступ пречишћавању воде без хемикалија који се може сматрати алтернативом традиционалним процедурама. Налази ове студије могли би се користити за даље истраживање развоја система за третман плазма воде за третман многих врста загађених вода у будућности.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Аутор ове дисертације је за писање користио 194 литературних навода, који у потпуности одговарају теми и указују на актуелност истраживања. Већина наведених референци представљају научне књиге и научне радове новијег датума који су публиковани у међународним часописима. У оквиру литературних навода коришћене су и научне публикације ранијег датума у којима се налазе основна сазнања за истраживања спроведена у дисертацији. Истраживања која су приказана у наведеним референцама помогла су у планирању експерименталног рада, анализи и дискусији добијених резултата као и за извођење закључака. Прегледана обимна литература и приложени објављени радови указују на кандидовано адекватно познавање области истраживања.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Хладне плазме су препонате као нови извор антиоксидативних процеса који могу да се користе у пречишћавању вода, поготово када су у питању загађивачи који не могу да се уклоне класичним методама. У оквиру ове дисертације су коришћене дијагностичке технике за електричну и оптичку карактеризацију плазме: високонапонска напонска сонда, напонске сонде, струјна сонда, спектрометар и брза ИЦД камера. За детекцију загађивача у води су се користили ХПЛЦ метода, ЛЦ-МС орбитрап, уређаји за мерење pH, проводности и мерења температуре. Све ове технике су рађене са најновијом генерацијом мерних уређаја и најновијим методологијама а у циљу детаљне карактеризације хладне плазме и ефикасности уклањања контаминаната.

3.4. Применљивост остварених резултата

Ова дисертација се у потпуности бави применама хладних плазми у пречишћавању вода загађених органским загађивачима. Циљ дисертације је била конструкција извора хладне плазме који може да послужи као лабораторијски прототип за будуће индустријску примену хладних плазми у пречишћавању вода.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Амит Кумар је током израде докторске дисертације показао стручност и способност у коришћењу, припреми и реализацији експеримената, као и коришћењу различитих техника карактеризације хладне плазме и анализи добијених резултата. Комисија сматра да кандидат Амит Кумар квалитетом остварених научних резултата, као и својим ангажовањем у научно-истраживачком раду током израде ове докторске дисертације, поседује све квалитете неопходне за самосталан научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Остварени научни допринос огледа се у:

- унапређењу постојећег и конструкцији новог извора хладне плазме (multi-pin-APPJ)
- конструкција проточног система за третман загађених вода
- потпуна електрична карактеризација и одређивање снаге предате хладној плазми током третмана загађених вода
- коришћење спектрометрије за одређивање побуђених атома и молекула у гасној фази плазме
- дефинисање и описивање хемије плазме у гасној фази
- боље разумевање интеракција побуђених честица, јона и радикала са водом
- коришћење ICCD камере за одређивање просторне расподеле реактивних врста са нагласком на реактивне кисеоничне врсте
- идентификација најбитних параметара попут предате снаге плазми, времена третмана или концентрације загађивача на ефекте пречишћавања воде
- разумевање понашања контаминаната и њиховог распада током плазма третмана
- дефинисање и описивање хемије интеракције плазме и контаминираних вода
- унапређењу фундаменталних знања из области примена хладних плазми у пречишћавању вода загађене органским загађивачима

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Прегледом постојеће литературе из области којима припада ова дисертација може се видети да сама дисертација са представљеним резултатима доприноси унапређењу научних знања. Значајан научни допринос је остварен у разумевању интеракције реактивних кисеоничних врста из плазме са молекулама загађивача у воденом раствору. Детаљно је испитано како одређени параметри утичу на ефикасност деградације загађивача као што су тип органског загађивача и његова концентрација. Такође, показано је да су снага предата плазми као и време третмана најбитнији параметри за праћење резултата пречишћавања воде. Дефинисане су просторне расподеле побуђених врста одговорних за најбитније хемијске реакције у гасној фази плазме као и за интеракције са водом. Помоћу коришћених аналитичких техника дефинисани су продукти распада органског загађивача током третмана хладном плазмом. Такође, дефинисани су механизми одговорни за распад загађивача као и најбитније кисеоничне врсте настале у плазми које су одговорне.

4.3. Верификација научних доприноса

Категорија M21a:

1. **Amit Kumar**, Nikola Škoro, Wolfgang Gernjak, Olivera Jovanović, Anđelija Petrović, Suzana Živković, Elisabeth Cuervo Lumbaque, Maria José Farré and Nevena Puač, *Degradation of pharmaceuticals in aqueous solution by using cold atmospheric plasma source*, Submitted in the journal of Science of The Total Environment, **under review** (2022), IF = 10,753, ISSN 1879-1026.

Категорија M22:

2. **Amit Kumar**, Nikola Škoro, Wolfgang Gernjak, Dragan Povrenović and Nevena Puač, *Direct and indirect treatment of organic dye (acid blue 25) solutions by using cold atmospheric plasma jet*, Frontiers in Physics, 10 (2022) 835635, IF = 3,718, ISSN 2296-424X, doi: 10.3389/fphy.2022.835635.
3. **Amit Kumar**, Ananthanarasimhan J, Anand M Shivapuji, S Dasappa and Lakshminarayana Rao, *Experimental investigation of a non-catalytic cold plasma water-gas shift reaction*, J Phys D Appl Phys, 53 (2020), 465205, IF = 3,409, ISSN 1361-6463, doi: 10.1088/1361-6463/aba92d.

Категорија M23:

4. **Amit Kumar**, Nikola Škoro, Wolfgang Gernjak and Nevena Puač, *Cold atmospheric plasma technology for removal of organic micropollutants from wastewater – a review*, Eur Phys J D, 75 (2021) 1-26, IF = 1,611, ISSN 1434-6060, doi: 10.1140/epjd/s10053-021-00283-5.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Технолошке науке за коју је Технолошко-металуршки факултет, Универзитета у Београду, матична установа. Ментор ове докторске дисертације је др Драган Повреновић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет а коментор др Волфганг Герњак, ИЦРА, Универзитет у Ђирони, Шпанија. На основу изнетих података Комисија сматра да су предмет, циљеви, методе, актуелност и значај докторске дисертације кандидата Амиа Кумара, мастер инж. технологије, јасно дефинисани и научно засновани. Ова дисертација даје значајан научни допринос научној области Инжењерство животне средине. Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду да се докторска дисертација под насловом: **Развој и карактеризација плазма система на атмосферском притиску за прераду отпадне воде**, кандидата **Амиа Кумара** прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање на Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду, као и да се након завршетка процедуре, кандидат позове на усмену одбрану докторске дисертације.

Београд, 25.10.2022.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Др Владимир Павићевић, ванредни професор

Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

Др Ивона Радовић, редовни професор

Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

Др Зоран Љ. Петровић, академик

Српска академија наука и уметности, Београд

Др Јелена Рађеновић, научни саветник

Универзитет у Ђирони, Шпанија.Каталонски институт за истраживање воде

Др Сара Родригез-Мозаз, виши научни сарадник

Универзитет у Ђирони, Шпанија.Каталонски институт за истраживање воде

Др Зденко Махала, редовни професор

Универзитет Комениус Братислава, Словачка

**UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF TECHNOLOGY AND METALLURGY
TEACHING-SCIENTIFIC COUNCIL**

Subject: Report on the completed doctoral dissertation of candidate Amit Kumar, Master Eng. of Technology

Decision no. 35/228 from 20.09.2022. year, we were appointed as members of the Commission for the review, evaluation and defense of the doctoral dissertation of candidate Amit Kumar, Master Eng. of Technology under the title: **Design, Development and Characterization of Atmospheric Plasma System for Wastewater Treatment**. After reviewing the submitted Dissertation and other supporting materials and talking to the candidate, the Commission made the following

R E P O R T

1. INTRODUCTION

1.1. Chronology of approval and preparation of the dissertation

Candidate Amit Kumar, Master Eng. of technology, enrolled in **2019/2020** in doctoral studies of the Environmental Engineering study program at the Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade.

29.06.2021 - At the session of the Teaching and Research Council, decision no. 35/153 was made on the appointment of the Commission for assessment of the suitability of the topic entitled "**Design, Development and Characterization of Atmospheric Plasma System for Wastewater Treatment**", and the suitability of the candidate Amit Kumar, Master Eng. of environmental protection, for the preparation of a doctoral dissertation.

23.12.2021. - At the session of the Teaching and Scientific Council of the Technological and Metallurgical Faculty of the University of Belgrade decision no. 35/370 on the acceptance of the Report of the Committee for Evaluating the Suitability of the PhD dissertation entitled: "**Design, Development and Characterization of Atmospheric Plasma System for Wastewater Treatment**" and PhD candidate Amit Kumar, Master Eng. of environmental protection. As the mentor of this doctoral dissertation was appointed Prof. Dragan Povrenović, Ph.D., full professor at the Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade.

19.01.2022. - At the session of the Council of Scientific Fields of Technical Sciences of the University of Belgrade, the decision 02 no. 61206-178/2-22 tsn) on giving consent to the proposal of the doctoral dissertation topic of Amit Kumar, master of engineering. of environmental protection, entitled: "**Design, Development and Characterization of Atmospheric Plasma System for Wastewater Treatment**".

02.06.2022. At the session of the Teaching and Scientific Council of the Technological and Metallurgical Faculty of the University of Belgrade decision no. 35/129 was appointed Wolfgang Gernjak, Ph.D., ICRA, University of Girona, Spain, as co-mentor.

04.07.2022. - At the session of the Council of Scientific Fields of Technical Sciences of the University of Belgrade, the decision 02 no. 61206-2828/2-22 tsn) was appointed Wolfgang Gernjak, Ph.D., ICRA, University of Girona, Spain, as co-mentor.

20.09.2022. - At the session of the Teaching and Scientific Council of the Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade made a decision no. 35/228 on the appointment of the Committee for the evaluation of the doctoral dissertation of Amit Kumar, master of engineering, of environmental protection entitled: " **Design, Development and Characterization of Atmospheric Plasma System for Wastewater Treatment** ".

1.2. Scientific field of the dissertation

The research within this doctoral dissertation belongs to the scientific field of Technological Engineering and the narrower scientific field of Environmental Engineering, for which the Faculty of Technology and Metallurgy is the relevant institution of the University of Belgrade. The candidate's mentor, prof. Dragan Povrenović, Ph.D., full professor at the Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade and Wolfgang Gernjak, Ph.D., ICRA, University of Girona, Spain based on their scientific experiences and published scientific works, are competent to mentors the preparation of this doctoral dissertation.

1.3. Biography

Amit Kumar was born in 1992 in Uttar Pradesh, India. In 2014, he obtained bachelor's degree in mechanical engineering from Dr. A.P.J. Abdul Kalam Technical University in Lucknow, India. He obtained MSc degree in Sustainable Technology at the Centre for Sustainable Technologies (Division of Mechanical Science) at the Indian Institute of Science (IISc) in Bangalore, India with the Master thesis "Experimental investigation of a non-catalytic cold plasma water-gas shift reaction." After obtaining MSc degree he worked as a research assistant at Combustion Gasification Propulsion Laboratory, IISc, India.

In December 2019, he was selected as a Marie Curie fellow within the project MSCA-ITN-H2020 Nowelties. As an early-stage researcher in a double-degree program he began PhD studies (European Joint Doctorates) at the Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade (Serbia) and The Catalan Institute for Water Research, University of Girona (Spain). He is employed at the Institute of Physics Belgrade since December 2019. His obligatory PhD secondment was at The Catalan Institute for Water Research for 7 months in the year of 2021-2022. Amit Kumar has published four papers in international journals (M22, M23) and one is submitted for review (M21a). Also, he has 6 contributions at the renowned international conferences.

2. DESCRIPTION OF THE DISSERTATION

2.1. Contents of the dissertation

The goal of this doctoral dissertation was the design, development and characterization of a multi-pin-APPJ system for wastewater treatment. The dissertation is divided into seven chapters. The framework and goal of the dissertation are the topics covered in the first chapter (**Introduction**). The second chapter (**Literature review on wastewater**) deals with the review of literature and scientific achievements in the field of wastewater treatment, the frequency and classification of organic pollutants (OMPs) as well as the treatment of OMPs using certain available AOPs (antioxidative processes). The third chapter (**Cold atmospheric plasma technology**) covers the basics of plasma technology, as well as the current state of scientific achievements in plasma-liquid interactions. Covers a literature review on cold atmospheric plasma-based treatment of OMPs (such as pharmaceuticals, organic dyes, and pesticides), with a focus on plasma sources, reactor setup, and various operating parameters that affect OMP degradation. After providing introductory information on several types of plasma sources, this chapter details the methodologies used to degrade organic dyes, pharmaceuticals, and pesticides.

The fourth chapter (**Materials and methods**) describes the material and methods used in the dissertation: which OMPs were chosen as targets (Acid Blue 25, Disperse Red 1, Diclofenac, Para-Chlorobenzoic), used plasma sources, experimental settings, instrumental equipment and analytical procedures.

The fifth chapter (**Treatment of contaminated water by using Pin-electrode atmospheric pressure plasma jet**) includes electrical and optical diagnostics of pin-APPJ, as well as the treatment of various OMPs and parametric analyzes where the influence of pollutant concentration, treatment time and plasma advance power was examined.

Electrical and optical diagnostics of the multi-pin-APPJ system was examined in the sixth chapter (**Treatment of contaminated water by using Multi-needle electrodes atmospheric pressure plasma jet**). It was considered how the water recirculation system affects the removal of OMP from water. Chapter six also discussed the transformation products derived from diclofenac.

Finally, in the seventh chapter (**Summary, conclusion and future work**), conclusions are given and topics for future work on cold plasma-based wastewater treatment are discussed.

3. DISSERTATION ASSESSMENT

3.1. Modernity and originality

Water pollution is currently considered one of the most important environmental concerns on a global scale. Organic micropollutants (OMPs) are a type of emerging pollutant that is identified in a variety of water bodies and has the potential to impact aquatic life, agriculture, and human health. Some OMPs are frequently insufficiently eliminated by conventional convectional wastewater treatment plants, resulting in OMPs ending up in the environment. In this regard, several advanced oxidation processes (AOPs) have been investigated as efficient supplemental wastewater treatment techniques. Cold atmospheric plasma is a chemical-free AOP that has recently been recognized as an efficient and promising technology for the removal of OMPs from wastewater.

Cold atmospheric plasma is an abundant source of diverse reactive species at ambient conditions that are attracting attention due to its potential applications in commercial and scientific exploration, such as water treatment, agriculture, biomedical surface decontamination, and much more. In the case of water treatment, plasma and liquid interaction can generate chemically rich reactive species such as hydroxyl radical ($\text{HO}^\cdot$), atomic oxygen ($\text{O}^\cdot$), hydrogen peroxide (H_2O_2), ozone (O_3), and so on. These are the most important and strong oxidants that can cause OMPs to be oxidized and destroyed in water.

In this thesis, two separate cold atmospheric plasma sources known as 1-pin electrode and 3-pin electrode (also known as multi-electrode system) atmospheric pressure plasma jet (APPJ) were utilized to explore the degradation of OMPs in water. A multi-electrode-APPJ with a recirculation system was also investigated in order to optimize the plasma-liquid contact area and the degradation of OMPs.

In both cases, plasma was ignited using a high voltage RF power supply, and argon was chosen as a working gas. During the treatment, argon plasma was produced at the liquid surface in contact with the surrounding air. The plasma system was tested electrically and optically. Using voltage and current probes, the operating electrical discharge parameters (voltage and current) were investigated. The power deposition in two different circuits (at the source and in contact with the sample) was estimated using captured voltage and current waveforms. Optical emission spectroscopy (OES) and an intensified charge-coupled device (iCCD) camera were used to characterize plasma optically. OES techniques were used at various parameters to find evidence of numerous short-lived reactive species formed in the gas phase of a plasma system. OES spectra confirmed the presence of different reactive oxygen and nitrogen species (RONS) in a plasma discharge. The iCCD camera with a UV lens was utilized to obtain spectrally and temporally resolved images of the plasma discharge. The iCCD was utilized in combination with different band pass filters to capture the emission distribution of distinct RONS and excited argon in the plasma.

In this investigation, four different OMPs were chosen as target pollutants and treated with plasma, including two organic dyes (acid blue 25 dye and disperse red 1 dye) and two pharmaceuticals (diclofenac and para-chlorobenzoic acid). The treatments were carried out while taking into account many experimental parameters such as pollutant concentration, plasma treatment time, solution volume, input plasma power, and discharge gap. Characterization of plasma-treated samples was accomplished using a UV/Vis spectrophotometer, HPLC, and an Orbitrap-LC-MS. A pH and conductivity analyzer was used to evaluate the pH and conductivity of the plasma-treated solution. Several kinetic models were assessed in order to investigate the various types of order of degradation and compute the oxidation rate of chosen OMPs. According to the study findings, plasma removed all of the mentioned pollutants through a distinct decomposition pattern. When compared to the other three OMPs, diclofenac showed the highest degradation. The energy yield was also calculated, which is an important measure for determining the energy efficiency of the plasma system. For comparison, the energy yield for 50 % pollutant removal was calculated; the highest energy yield was 6465 mg/kWh for diclofenac degradation.

In the present study, a pollutant, such as acid blue 25 dye, was treated indirectly (plasma was not in touch with dye solution) by using plasma-activated water (PAW). PAW was produced using pin-APPJ, then mixed with a dye-containing solution and studied for many days to identify the role of long-lived reactive species in dye degradation. PAW is a mixture of many stable RONS that can contribute to dye degradation in water. Since PAW contains diverse RNS, it can play an essential role in both decontamination and agriculture.

Overall, the experimental results indicate that cold atmospheric plasma-based AOPs can be used to efficiently remove various OMPs from water. Cold atmospheric plasma-based treatment has significant potential as a unique, chemical-free approach to water purification that might be regarded as an alternative to traditional procedures. The findings of this study could be used to further research the development of plasma water treatment systems for the treatment of many types of polluted water in the future.

3.2. Review of references and used literature

The author of this dissertation used 194 literature references for writing, which are completely appropriate for the topic of the research. Most of the mentioned references represent recent scientific books and scientific works published in international journals. As part of the literature references, scientific publications of an earlier date were also used, which contain the basic knowledge for the research conducted in the dissertation. The research presented in the mentioned references helped in the planning of the experimental work, analysis and discussion of the obtained results as well as in drawing conclusions. The reviewed extensive literature and attached published works indicate the candidate's adequate knowledge of the research area.

3.3. Description and adequacy of applied scientific methods

Cold plasmas are found to be a new source of antioxidant processes that can be used in water purification, especially when it comes to pollutants that cannot be removed by classical methods. Diagnostic techniques for electrical and optical characterization of plasma were used in this dissertation: high-voltage voltage probe, voltage probes, current probe, spectrometer and high-speed ICCD camera. For the detection of pollutants in water, the HPLC method, LC-MS orbitrap, pH, conductivity and temperature measuring devices were used. All these techniques were performed with the latest generation of measuring devices and the latest methodologies with the aim of detailed characterization of cold plasma and the efficiency of contaminant removal.

3.4. Applicability of achieved results

This dissertation is entirely related to the applications of cold plasmas in the purification of waters polluted by organic pollutants. The goal of the dissertation was the construction of a cold plasma source that can serve as a laboratory prototype for the future industrial application of cold plasmas in water purification.

3.5. Assessment of the candidate's abilities for independent scientific work

During the preparation of his doctoral dissertation, Amit Kumar demonstrated expertise and ability in the use,

preparation and implementation of experiments, as well as the use of various techniques for cold plasma characterization and analysis of the obtained results. The Committee believes that the candidate Amit Kumar, with the quality of the achieved scientific results, as well as his engagement in scientific and research work during the preparation of this doctoral dissertation, possesses all the qualities necessary for independent scientific and research work.

4. ACHIEVED SCIENTIFIC CONTRIBUTION

4.1. Presentation of achieved scientific contributions

The achieved scientific contribution is reflected in:

- improvement of the existing and construction of a new source of cold plasma (multi-pin-APPJ)
- construction of a flow system for the treatment of polluted water
- complete electrical characterization and determination of the power delivered to the cold plasma during wastewater treatment
- using spectrometry to determine excited atoms and molecules in the gas phase of the plasma
- defining and describing plasma chemistry in the gas phase
- better understanding of the interactions of excited particles, ions and radicals with water
- using the ICCD camera to determine the spatial distribution of reactive species with an emphasis on reactive oxygen species
- identification of the most important parameters such as the delivered plasma power, treatment time or pollutant concentration on the effects of water purification
- understanding the behavior of contaminants and their decomposition during plasma treatment
- defining and describing the chemistry of plasma and contaminated water interaction
- improvement of fundamental knowledge in the field of application of cold plasmas in the purification of water polluted by organic pollutants

4.2. Critical analysis of research results

By reviewing the available literature from the fields to which this dissertation belongs, it can be seen that the dissertation itself with the presented results contributes to the improvement of scientific knowledge. A significant scientific contribution has been made in understanding the interaction of reactive oxygen species from plasma with pollutant molecules in aqueous solution. It was examined in detail how certain parameters affect the efficiency of pollutant degradation, such as the type of organic pollutant and its concentration. Also, it was shown that the power delivered to the plasma as well as the treatment time are the most important parameters for monitoring the results of water purification. Spatial rhapsodes of excited species responsible for the most important chemical reactions in the gas phase of the plasma as well as interactions with water are defined. By means of the used analytical techniques, the decomposition products of the organic pollutant during the Hald plasma treatment were defined. Also, the mechanisms responsible for the disintegration of pollutants are defined, as well as the most important oxygen species formed in the plasma that are responsible.

4.3. Verification of scientific contributions

M21a:

1. **Amit Kumar**, Nikola Škoro, Wolfgang Gernjak, Olivera Jovanović, Anđelija Petrović, Suzana Živković, Elisabeth Cuervo Lumbaque, Maria José Farré and Nevena Puač, *Degradation of pharmaceuticals in aqueous solution by using cold atmospheric plasma source*, Submitted in the journal of Science of The Total Environment, **under review** (2022), IF = 10,753, ISSN 1879-1026.

M22:

2. **Amit Kumar**, Nikola Škoro, Wolfgang Gernjak, Dragan Povrenović and Nevena Puač, *Direct and indirect treatment of organic dye (acid blue 25) solutions by using cold atmospheric plasma jet*, Frontiers in Physics, 10 (2022) 835635, IF = 3,718, ISSN 2296-424X, doi: 10.3389/fphy.2022.835635.
3. **Amit Kumar**, Ananthanarasimhan J, Anand M Shivapuji, S Dasappa and Lakshminarayana Rao, *Experimental investigation of a non-catalytic cold plasma water-gas shift reaction*, J Phys D Appl Phys, 53 (2020), 465205, IF = 3,409, ISSN 1361-6463, doi: 10.1088/1361-6463/aba92d.

M23:

4. **Amit Kumar**, Nikola Škoro, Wolfgang Gernjak and Nevena Puač, *Cold atmospheric plasma technology for removal of organic micropollutants from wastewater – a review*, Eur Phys J D, 75 (2021) 1-26, IF = 1,611, ISSN 1434-6060, doi: 10.1140/epjd/s10053-021-00283-5.

5. CONCLUSION AND PROPOSAL

The research within this doctoral dissertation belongs to the scientific field of Technological Science, for which the Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, is the parent institution. The mentor of this doctoral dissertation is Dr. Dragan Povrenović, full professor at the University of Belgrade, Faculty of Technology and Metallurgy, and the co-mentor is Dr. Wolfgang Gernjak, ICRA, University of Girona, Spain. Based on the data presented, the Committee considers that the subject, goals, methods, topic and importance of the doctoral dissertation of candidate Amit Kumar, Master Eng. of Technology, are clearly defined and scientifically based. This dissertation makes a significant scientific contribution to the scientific field of Environmental Engineering. The Committee proposes to the Teaching and Scientific Council of the Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade that the doctoral dissertation entitled: "**Design, development and characterization of plasma systems at atmospheric pressure for water processing**" by candidate Amit Kumar be accepted, exposed to the public and sent to the final acceptance to the Council of Scientific Fields of Technical Sciences of the University of Belgrade, as well as that, after the completion of the procedure, the candidate will invited to the oral defense of the doctoral dissertation.

Belgrade, 25.10.2022.

COMMITTEE FOR THE EVALUATION

Dr. Vladimir Pavicević, associate professor

University of Belgrade, Faculty of technology and metallurgy

Dr. Ivona Radović, full professor

University of Belgrade, Faculty of technology and metallurgy

Dr. Zoran Lj. Petrović, Member of Serbian academy of sciences and arts

Serbian academy of sciences and arts, Belgrade

Dr. Jelena Radjenović, Research professor

University of Girona, Spain, Catalan Institute for Water Research

Dr. Sara Rodríguez-Mozaz, Research scientist

University of Girona, Spain, Catalan Institute for Water Research

Dr. Zdenko Machala, Full professor

Comenius University Bratislava, Slovakia