



УНИВЕРЗИТЕТ „УНИОН - НИКОЛА ТЕСЛА“ У БЕОГРАДУ

Број: 2104

Датум: 14.07.2023. год.

Београд

ИЗВЕШТАЈ КОМИСИЈЕ ЗА ОЦЕНУ И ОДБРАНУ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ
-обавезна садржина-

I. ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ

1. Датум и орган који је именовано комисију
Наставно-научно веће Факултет за екологију и заштиту животне средине
Универзитета "Унион-Никола Тесла" у Београду на седници, одржаној 11. 04. 2023.
год.
2. Састав комисије са назнаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен:
 1. др Марина Илић, редовни професор, председник комисије, ужа научна област: **Управљање отпадом и одрживи развој, избор у звање (28.10.2011.), Универзитет „Унион Никола Тесла“ у Београду.**
 2. др Nadi Waisi, виши научни сарадник, ментор1, ужа научна област: **Инжењерство материјала, избор у звање: (26.09.2022.), Институт за општу и физичку хемију, Факултет за екологију и заштиту животне средине, Универзитет „Унион Никола Тесла“ у Београду.**
 3. др Владимир Додевски, виши научни сарадник, ментор2, ужа научна област: **Наука о материјалима, избор у звање (14.12.2022.), Институт за нуклеарне науке "Винча", Институт од националног значаја за Републику Србију, Универзитета у Београду.**
 4. др Сања Мразовац Курилић, редовни професор, члан, ужа научна област: **Заштита животне средине, избор у звање: (06.12.2019.), Универзитет „Унион - Никола Тесла“ у Београду.**
 5. др Стеван Благојевић, виши научни сарадник, спољни члан, ужа научна област: **хемија, избор у звање (26.01.2021.), Институт за општу и физичку хемију у Београду**

II. ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

1. Име, име једног родитеља, презиме:
 Бојана, Зоран, Божиловић
2. Датум рођења, општина, Република:
 07.01.1988., Прокупље, Србија
3. Датум одбране, место и назив дипломског мастер рада
 05.07.2019., Факултет за екологију и заштиту животне средине, Београд

4. Научна област из које је стечено академско звање - мастер
Наука о заштити животне средине

III. НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Синтеза, карактеризација и примена угљеничних материјала добијених од опушака цигарета

IV. ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Навести кратак садржај са назнаком броја страна поглавља, слика, шема, графикана и сл.

Докторска дисертација кандидата **Бојане Божиловић**, под називом „Синтеза, карактеризација и примена угљеничних материјала добијених од опушака цигарета“ написана је латиничним писмом (*Times New Roman*; фонт 12; проред 1,5) прегледно, јасно и језички прецизно, на укупно 108 страна и садржи 22 слике и 7 табела. У дисертацији је коришћено 157 литературних навода.

Дисертација садржи 5 поглавља: **Увод (поглавље 1.), Експериментални део-материјали и методе истраживања (поглавље 2.), Резултати и дискусија (поглавље 3), Закључак (поглавље 4.), Литература (поглавље 5.)**. Осим наведених поглавља, дисертација садржи и сажетак на српском и енглеском језику.

Sadržaj

1. Uvod	1
1.1. Polazne osnove	3
1.1.1. Predmet istraživanja	3
1.2. Cilj istraživanja	6
1.3. Osnovne hipoteze istraživanja	7
1.4. Zakonodavno-pravni okvir u oblasti upravljanja otpadom	8
1.4.1. Zakonodavstvo EU u upravljanju otpadom	8
1.4.2. Nacionalno zakonodavstvo u upravljanju otpadom	10
1.4.3. Otpad i upravljanje otpadom	15
1.5. Otpad od plastike sa fokusom na otpad od filtera cigareta	18
2. Eksperimentalni deo - materijali i metode istraživanja	23
2.1. Sirovinski materijal i priprema uzoraka	23
2.2. Analiza procesa prekarbonizacije praćena istovremenim merenjem TG-DTG-DTA i testovima termalne stabilnosti	24
2.2.1. Indeksi performansi prekarbonizacije	25

2.2.2.	Izokonverzionalna kinetička analiza procesa prekarbonizacije	26
2.2.3.	Kinetička analiza zasnovana na modeliranju	29
2.3.	Proces karbonizacije	30
2.3.1.	Eksperiment karbonizacije u horizontalnoj cevnoj peći	31
2.4.	Karakterizacija sirovog materijala i dobijenog ugljeničnog materijala	32
2.4.1.	Analiza FTIR spektroskopijom	32
2.4.2.	Analiza rendgenske difrakcije (XRD)	33
2.4.3.	Analiza SEM-EDS	33
2.4.4.	BET analiza uzoraka	34
3.	Rezultati i diskusija	35
3.1.	FTIR rezultati prekursora i karbonizovanog uzorka	35
3.2.	Rezultati rendgenske difrakcije (XRD)	37
3.3.	Termalna stabilnost r-CAF i kinetička analiza pred-karbonizacijske faze (modeliranje kinetike devolatilizacije/pirolize) – Eksperimenti na laboratorijskom nivou	40
3.3.1.	Rezultati TG-DTG-DTA analize	40
3.3.2.	Određivanje temperature staklastog prelaza (T _g) pomoću DSC tehnike	45
3.3.3.	Termalna stabilnost i indeksi devolatilizacije	48
3.3.4.	Kinetička analiza procesa devolatilizacije	50
3.3.4.1.	“Model free” rezultati	50
3.3.4.2.	Rezultati zasnovani na fitovanim kinetičkim modelima	63
3.4.	Rezultati faze karbonizacije – Makroskopski (Large skale) eksperimenti	79
3.4.1.	Rezultati karakterizacije uzorka SEM-EDX analizom	79
3.4.2.	Rezultati BET analize i ispitivanje poroznosti	85
4.	Zaključak	93
5.	Literatura	95

V. ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

У поглављу 1, „Увод“ кандидат је описао полазне основе и предмет истраживања, циљ и разлоге истраживања, те назначио задатке и допринос истраживања опушака од цигарета.

У потпоглављу увода, „Законодавно-правни оквир у области управљања отпадом“, кандидат је описао „Законодавство ЕУ у управљању отпадом“ где је навео „Кључне директиве ЕУ у области управљања отпадом“ и акционе планове за циркуларну економију. Такође, представљено је „Национално законодавство у управљању отпадом“ са посебним освртом на „Закон о управљању отпадом“

У поглављу увода – Отпад и управљање отпадом, објашњено је шта све управљање отпадом обухвата, као и различите врсте управљања отпадом. Прецизно је описан утицај отпада на здравље, дат је „Индекс каталога отпада“ и „Подела отпада према времену настанка“

У поглављу увода, „Отпад од пластике са фокусом на отпад од филтера цигарета“, описан је састав опушка од цигарете и целулозни ацетат као полазни материјал. Описано је и какве све потенцијалне опасности доноси неконтролисано бацање опушака. Такође, описано је и која се све једињења налазе у коришћеном филтеру од цигарета.

У поглављу 2, „Експериментални део - материјали и методе истраживања“, описан је сировински материјал и припрема узорака. Детаљно су описане инструменталне методе коришћене у раду:

- Анализа процеса прекарбонизације праћена истовременим мерењем ТГ-ДТГ-ДТА и тестовима термалне стабилности
- Индекси перформанси прекарбонизације
- Изоконверзионална кинетичка анализа процеса прекарбонизације
- Процес карбонизације
- Карактеризација сировог материјала и добијеног угљеничног материјала
- Анализа ФТИР спектроскопијом
- Анализа рендгенске дифракције (ХРД)
- Анализа СЕМ-ЕДС
- БЕТ анализа узорака

У Поглављу 3, „Резултати и дискусија“, детаљно су дискутовани резултати описани у потпоглављима:

- ФТИР резултати прекурсора и карбонизованог узорка
- Резултати рендгенске дифракције (ХРД)
- Термална стабилност r -CAF и кинетичка анализа пред-карбонизацијске фазе (моделирање кинетике деволатилизације/пиролизе) - Микро-мерни експерименти.
- Кинетичка анализа процеса деволатилизације
- Резултати безмоделног (изоконверзацијског) приступа
- Резултати засновани на фитованим моделима
- Резултати фазе карбонизације - Макроскопски експерименти
- Резултати карактеризације узорка СЕМ-ЕДХ анализом

У Поглављу 4. „Закључак“, кандидат је сумирао и истакао закључке из добијених резултата. Описано је да су се коришћени филтери од употребљених цигарета, који су претежно састављени од целулозног ацетата (ЦА), показали су као потенцијални материјал за производњу вредних био-производа, посебно високо порозног карбонизованог угљеника, путем пиролизе. Предложен је поступак за рециклирање филтера цигарета који омогућава одрживу употребу отпада и помаже чишћењу животне средине. Детаљно је представљена студија која је подељена на две фазе које су детаљно проучиле прекарбонизацију (стадијум деволатилизације) путем микроскопских експеримената термичке декомпозиције прекурсора (r -CAF), користећи различите технике термичке анализе (симултана ТГ-ДТГ-ДТА и ДСЦ техника), и стадијум карбонизације који је спроведен у реактору са фиксним слојем за производњу порозног угљеничног материјала.

• Ова докторска дисертација је дала свеобухватно разумевање термичке декомпозиције целулозног ацетата, као и карактеризацију угљеничних материјала добијених пиролизом. Описан је начин и потенцијални начин добијања порозних угљеничних материјала као и њихов потенцијал за еколошки прихватљиву производњу и

одрживу употребу ресурса.

- Овај рад отвара врата за даље истраживање и примену филтера од употребљених цигарета у производњи порозних угљеничних материјала. Њихова потенцијална примена у различитим индустријским гранама може бити од изузетног значаја, нудећи одрживо решење за управљање отпадом.

Из области ове докторске дисертације проистекли су следећи радови који су у прихваћени у међународним часописима.

Два рада која имају примену у докторској дисертацији су објављена у међународним часописима категорије M21, и категорије M23, који су индексирани на SCI (Science Citation Index) листи. Оба рада се могу прихватити као радови из области ове докторске дисертације.

1. **Bojana Božilović**, Bojan Ž. Janković, Milena Pijović-Radovanović, Hadi Waisi, Milena Marinović-Cincović, Sanja Krstić, Vladimir M. Dodevski. (2023) Thermo-chemical conversion of cigarette butt filters waste through pyrolysis process using thermal analysis techniques. *Thermal Science. In press*
2. Bojan Janković, Marija Kojić, Milena Milošević, Milena Rosić, Hadi Waisi, **Bojana Božilović**, Nebojša Manić and Vladimir Dodevski. Upcycling of the Used Cigarette Butt Filters through Pyrolysis Process: Detailed Kinetic Mechanism with Bio-Char Characterization. (2023) *Polymers. In press*

VI. ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

- Коришћени филтери од употребљених цигарета, који су претежно састављени од целулозног ацетата (ЦА), показали су се као потенцијални материјал за производњу вредних био-производа, посебно високо порозног карбонизованог угљеника, путем пиролизе. У овом раду је предложен поступак за рециклирање филтера цигарета који омогућава одрживу употребу отпада и помаже чишћењу животне средине.
- Представљена студија је подељена на две фазе које су детаљно проучиле прекарбонизацију (стадијум деволатилизације) путем микроскалних експеримената термичке декомпозиције прекурсора (r-CAF), користећи различите технике термичке анализе (симултана TG-DTG-DTA и DSC техника), и стадијум карбонизације (угаљење) који је спроведен у реактору са фиксним слојем (макроскални експеримент) за производњу порозног угљеничног горива.
- Овај стадијум је извршен путем једноставног поступка карбонизације при температури од 800 °C, са временом задржавања од 1h, и брзином загревања од 4 °C/мин (CA800(1h)). Физичко-хемијска карактеризација сировине и карбонизованог узорка извршена је коришћењем различитих инструменталних аналитичких техника, док је порозност добијеног угљеника одређена BET методом.
- Истражена је термичка стабилност прекурсора (r-CAF) под неизотермним условима, као и свеобухватна кинетичка анализа. За кинетичко моделирање пиролитичког процеса r-CAF коришћени су модели без зависности о конверзији (изотермне) и модели са зависношћу о конверзији (модел-фитинг приступ). Резултати кинетичке анализе су показали веома интересантне појаве које се јављају током термохемијске конверзије r-CAF, а наведене су у следећим битним тачкама:
- Претпостављено је да ацетилне групе пластификатора (триацетин (ТА)) интерагују

са ЦА путем диполних интеракција и водоникових веза. Утицај ових поларизирајућих интеракција може утицати на положај температуре стакластог прелаза (T_g) за r-CAF. Међутим, идентификација слабих X-везаних ОН група се јавља само на температурама од 100–200 °C, потврђујући присуство хидрофилних супстанци које могу да утичу на порозност угљеника који се производи током пиролизе r-CAF.

- На основу анализе кинетичких параметара, пиролиза r-CAF се одвија у неколико фаза, укључујући и интензивну фазу деградације СА која се одвија на температурама од 250–400 °C. Ова фаза је обележена присуством различитих стадијума смањења величине и стварања малих молекула као резултат термичког разлагања ацетатних група.
- Добијени резултати су потврдили да је конверзија СА до угљеничног материјала могућа. Порозни угљеници који су добијени из r-CAF постижу максималну специфичну површину од 266,4 m²/g, средњи пречник пора од 3,72 nm, и укупан обим пора од 0,37 cm³/g. Према свим добијеним резултатима, могу се формирати сферни порозни угљеници са високим степеном међусобне повезаности и расподелом величине пора, што омогућава њихову примену у различитим технолошким областима, као што су адсорпција, катализа, и електрохемија.
- Овај рад пружа свеобухватно разумевање термичке декомпозиције СА, као и карактеризацију угљеничних материјала добијених пиролизом. Примена употребе r-CAF као прекурсора за добијање порозних угљеничних материјала има потенцијал за еколошки прихватљиву производњу и одрживу употребу ресурса.
- Овај рад отвара врата за даље истраживање и примену филтера од употребљених цигарета у производњи порозних угљеничних материјала. Њихова потенцијална примена у различитим индустријским гранама може бити од изузетног значаја, нудећи одрживо решење за управљање отпадом и заштиту животне средине.

VII. ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

Посматрајући све резултате истраживања може се донети закључак да је кандидат дошао до веома битних података које је обрадио и потврдио доказаним научним методама.

Кандидат је резултате испитивања, правилно, логично и јасно тумачио. Добијене резултате је поредио са резултатима других аутора и при томе испољио довољно критичности. Сагледавши све резултате истраживања може се констатовати да је кандидат дошао до нових сазнања у погледу искоришћења опушака као отпадног материјала за добијање корисних продуката.

Иако је пред кандидатом био комплексан задатак, кандидат је успео да логички приступи проблему отпада од опушака, посложи и обради резултате и донесе јасне закључке, узимајући све чиниоце у обзир.






Кандидат је у дисертацији јасно дао предлоге и полазне основе за будућа истраживања. Резултати и закључци ове докторске дисертације представљају значајан научни допринос који се у будућности може економски валоризовати и имати значајан утицај у приступу и начину заштите животне средине.

Дисертација садржи све битне елементе у вези са предметом истраживања и научног дела у целини. Научна вредност и оригиналност ове дисертације заснива се на чињеници да су, применом научних метода, јасно истражени и утврђени начини добијања корисног материјала од опушка цигарета. Наведена истраживања служе као основа за унапређење различитих сегмената управљања отпадом у Србији у правцу одрживог развоја. Такође, с обзиром да ова дисертација представља јединствен и иновативан приступ решавању проблема отпада, иста ће се користити као основа за подношење пројеката из области циркуларне економије.

VIII. ПРЕДЛОГ:

На основу укупне оцене дисертације и сагледавања свеукупног опуса истраживања у овој дисертацији, која представља оригиналан научни рад, Комисија позитивно оцењује докторску дисертацију под називом „Синтеза, карактеризација и примена угљеничних материјала добијених од опушка цигарета” и предлаже Наставно-научном већу Факултета за екологију и заштиту животне средине у Београду и Сенату Универзитета Унион - Никола Тесла да **прихвати позитивну оцену докторске дисертације кандидата Бојане Божиловић и одобри усмену одбрану пред именованом комисијом.**

ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ:

1. 
др Марина Илић, редовни професор, председник комисије
2. 
др Waisi Hadi, виши научни сарадник, ментор1
3. 
др Владимир Додевски, виши научни сарадник, ментор2
4. 
др Сања Мразовац Курилић, редовни професор, члан
5. 
др Стеван Благојевић, виши научни сарадник, спољни члан

НАПОМЕНА: Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај.