

Универзитет у Београду - Хемијски факултет
Наставно-научно веће

ПРЕДМЕТ: Извештај Комисије за преглед и оцену докторске дисертације **Јоване М. Ђокић**, дипломираног мастер хемичара

На редовној седници Наставно-научног већа Хемијског факултета одржаној 9. септембра 2021. године изабрани смо у Комисију за оцену научне заснованости теме Јоване М. Ђокић, дипломираног мастер хемичара, истраживача-сарадника Иновационог центра Хемијског факултета, под насловом:

„Трансформације једињења калаја и других метала током пиро-електро-хидрометалуршког третмана електронског отпада“.

Веће научних области природних наука Универзитета у Београду је, на својој седници одржаној дана 28. октобра 2021. године, на захтев Хемијског факултета, дало сагласност на предлог теме докторске дисертације (број одлуке: 61206-4254/2-21). Према Члану 17 Правилника о докторским академским студијама из 2013. године, а на основу одредби Закона о високом образовању (Сл. гласник РС бр. 76/2005, 97/2008, 44/2010, 93/2012 и 89/2013), Статута Универзитета у Београду (Гласник УБ бр. 162/18.11.2011.) и статута Хемијског факултета, прописано је да Комисија за оцену научне заснованости теме, у непромењеном саставу, по аутоматизму представља и Комисију за преглед и оцену докторске дисертације.

Комисија је докторску дисертацију прегледала и Наставно-научном већу подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

А. Приказ садржаја дисертације

Докторска дисертација кандидаткиње Јоване М. Ђокић написана је на српском језику, на 131 страни А4 формата (фонт Cambria величине 12 pt, са проредом 1) и садржи 69 слика, 23 табеле и 149 литературна навода. Дисертација се састоји из 7 поглавља: Увод (2 стране), Теоријски део (27 страна), Експериментални део (21 страна), Резултати и дискусија (55 страна), Закључак (5 страна), Литература (10 страна), Прилози (6 страна). Поред тога, дисертација садржи: Захвалницу на српском језику, Изводе на српском и енглеском језику и Садржај. Дисертација је по својој структури и садржају у потпуности у складу са стандардима прописаним од стране Универзитета у Београду.

Увод садржи краћи осврт на стање области истраживања приказано кроз значај метала у развоју високо-технолошке индустрије и електронских уређаја, трендове раста електронског отпада (е-отпад) и његове вредности; даље су укратко приказане уобичајене методе добијања метала из поменуте секундарне сировине и истакнути су суштински недостаци који леже у неразјашњеним хемијским процесима традиционално примењених технологија валоризације, а који доводе до неповратних губитака вредних метала. Посебан нагласак је на отежаној контроли кретања калаја кроз системе. На овај начин, кандидаткиња је детаљно приказала глобални проблем е-отпада и значај његовог ефикасног искоришћења. Мотив истраживања обухваћених овом докторском дисертацијом укратко је представљен недостацима проучаване области и истакнута је неопходност осветљавања механизмима реакција и ограничавајућих реакционих параметара специфичних сегмената устаљених рециклажних процеса, попут формирања високостабилног хидратисаног калај(IV)-оксида (метастанатне киселине). Истакнути су предмет и генерални циљ истраживања чији су задаци детаљно разрађени у наредним поглављима дисертације. У овом делу је дата шира слика као полазни мотив проблема и недостатака области разматране у оквиру ове дисертације.

Теоријски део подељен је на две основне целине: Теоријске основе и Преглед литературних резултата. У првој целини, кандидаткиња дефинише кључне појмове значајне за предмет дисертације, и према доступним подацима (април 2022. године) приказује однос генерисања и рециклаже е-отпада, на глобалном нивоу, уз приказ предвиђања за наредни период. Дат је детаљан хемијски састав, као просечан опсег удела метала заснован на различитим литературним изворима, чиме је приказан значај изучаваног предметног материјала (е-отпада односно отпадних штампаних плоча - ОШП) и истакнути су бенефити рециклаже са различитих аспеката. У посебном сегменту кандидаткиња се осврће на значај калаја у производњи е-уређаја истичући неминован тренд пораста удела овог метала у истим а тиме и у е-отпаду, наглашавајући неопходност минимизације експлоатације примарних извора односно унапређење ефикасности његове валоризације из секундарних извора. У наставку су представљене основне методе валоризације метала из е-отпада и њихови недостаци, са посебним освртом на кретање калаја и негативне последице настанка метастанатне киселине у описаним системима. Оваквим приступом кандидаткиња је приказала специфичне сегменте у рециклажном току ОШП у којима долази до губитака метала услед неразјашњене хемијске основе истих. Даље, кандидаткиња је представила метастанатну киселину кроз приказ физичко-хемијских карактеристика као основе за проучавање реакционих услова њене трансформације у растворна једињења. У последњем сегменту дате су теоријске основе уобичајених метода пречишћавања раствора лужења и електролита добијених трансформацијом е-отпада, са посебним освртом на електродепозицију и течно-течну екстракцију (ТТЕ) као методе избора, са истакнутим недостацима истих. У другој целини, кандидаткиња у три сегмента даје приказ релевантних научних резултата других аутора истичући актуелност проблема у хидрометалуршком приступу третмана е-отпада. Закључује да постоји напредак у истраживању али и да је несумњив недостатак свеобухватног процеса валоризације и других метала осим уобичајено циљаних бакра и племенитих. Такође из приказаног је јасно да постоји потреба за испитивањима на увећаном лабораторијском нивоу који би довели до бољег разумевања интеракција у реалним системима а тако и одрживе валоризације калаја и других метала. Даље су приказани научни резултати на пољу добијања калаја из метастанатне киселине који се превасходно заснивају на недовољно успешном пирометалуршком приступу, док су, према доступним информацијама, подаци о хидрометалуршком приступу оскудни, односно непостојећи када се ради о разумевању механизма трансформације у растворна једињења. У последњем сегменту приказани су актуелни

резултати из сфере пречишћавања раствора методом ТТЕ а у циљу добијања бакра превасходно из сулфатних система, одакле се закључује да је већина испитивања заснована на синтетским растворима који бледо осликавају реалну сложеност система карактеристичну за процесе рециклаже е-отпада и да је добијање других метала, који се могу очекивати у реалним системима, оваквим приступом занемарено те да не постоје подаци који свеобухватно описују расподелу метала, па тако ни калаја нити њихове међусобне интеракције у предметном систему. На крају овог поглавља дат је шематски приказ стања технике рециклаже е-отпада, са посебним освртом на кретање калаја кроз системе. У овом делу је на адекватан начин приказано тренутно стање научно-истраживачких резултата и дат критички осврт на објављене радове из области истраживања у оквиру ове дисертације.

Експериментални део на почетку садржи дефинисане циљеве ове дисертације. Истакнут је основни фокус усмерен на контролу калаја и његових једињења кроз хидро- и пиро-електрометалуршки третман е-отпада, осветљавањем механизма и реакционих ограничења трансформације једињења поменутог али и пратећих метала ради генералног смањења губитка истих кроз постојеће рециклажне токове. Описани су порекло материјала и поступци припреме специфичних категорија ОШП и дата листа коришћених хемикалија. Приказана је апаратура и описан оригинално дизајнирани експеримент добијања циљаних узорака за истраживања у оквиру дисертације. Наведено је и описано четрнаест метода коришћених за свеобухватну физичко-хемијску карактеризацију материјала, улазних узорака и производа добијених експерименталним истраживањем, уз детаљне описе припреме истих за поједине анализе. Дат је и детаљан опис примењене методе одређивања садржаја племенитих метала – модификоване купелације, урађене према оригиналном пропису прилагођеном специфичним карактеристикама предметног материјала. У посебном сегменту дата је методологија истраживања у којој је описана основа примена термодинамичке анализе иницијално истраживаних реакционих система коришћењем HSC Chemistry® софтвера и детаљно су описане експерименталне процедуре три основна проучавана система са приказом одговарајуће апаратуре.

Поглавље **Резултати и дискусија**, сходно дефинисаним циљевима дисертације, садржи три целине са одговарајућим поднасловима који логички прате ток експерименталног проучавања. У првој целини дати су резултати физичко-хемијске карактеризације улазног материјала на основу којих је урађена термодинамичка анализа хемијског потенцијала одвијања реакција, проучавање хемијских равнотежа испитиваних система и стабилности фаза. На основу ових резултата дефинисани су почетни реакциони параметри експерименталног рада. У наставку, кандидаткиња је детаљно представила резултате оптимизације реакционих услова лужења основних метала из гранулата ОШП, лужења сребра и олова и на крају злата. Реакциони феномени и ограничења реакција су продискутовани и на крају су дефинисани оптимални услови за добијање бакра, калаја, сребра, олова и злата. По први пут, услови оптимизовани на лабораторијском нивоу испитани су на увећаном тесту користећи реалан узорак ОШП, приказани су резултати и дати масени биланс и предлог обједињеног хидрометалуршког приступа за селективно добијања поменутих метала из предметног материјала са истакнутим реакционим ограничењима. У другој целини, након приказаних резултата физичко-хемијске карактеризације експериментално добијених улазних узорака намењених за испитивање трансформације метастанатне киселине у раствору једињења калаја, дати су резултати термодинамичке анализе на основу којих су дефинисани почетни реакциони параметри експерименталног рада. У наставку су детаљно приказани експериментални резултати оптимизације реакционих параметара на ефикасност трансформације метастанатне

киселине, објављени по први пут, што представља научни допринос дисертације. Оптимални реакциони услови дефинисани на лабораторијском нивоу испитани су на увећаном лабораторијском тесту. Приказани су и продискутовани резултати, одређени кинетика и механизам реакције трансформације и дефинисана реакциона ограничења. У трећој целини приказан је детаљан хемијски састав експериментално добијеног електролита, коришћеног за испитивање кретања калаја и утицаја овог и пратећих јона метала на ефикасност и селективност екстракције бакра применом течно-течне екстракције. Након тога, приказани су резултати оптимизације реакционих услова екстракције и ре-екстракције бакра уз праћење још осамнаест јона метала, одређен је теоријски број оптималних корака оба процеса и дати су резултати испитивања врсте активног центра екстракционог средства (разгранати алдоксим као оптимална врста у односу на алдоксим/кетоксимске мешавине) за примену у хемијски комплексном систему какав је проучавани реални узорак електролита. На крају је дата расподела јона метала уз праћење масеног биланса примењеног оптимизованог процеса и дат је предлог процесне шеме трансформације једињења метала и њиховог добијања из производа пиро-електро-хидрометалуршког третмана ОШП.

Закључак садржи сублимиран приказ најзначајнијих дискусија резултата проистеклих из експерименталног рада обухваћеног овом докторском дисертацијом. Такође је истакнут значај испитивања на увећаном лабораторијском нивоу као и значај расветљавања хемијске основе и механизма појединих сегмената постојећих рециклажних процеса. Доказане су трансформације, постигнута је контрола механизма и утврђена је могућност валоризације калаја.

У поглављу **Литература** наведено је 149 публикација релевантних за област истраживања којима су покривени сви делови дисертације.

Прилози садрже Биографију кандидаткиње, Објављене радове проистекле из рада на докторској дисертацији и пратеће Изјаве које су предвиђене правилником Универзитета у Београду (Изјава о ауторству, Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и Изјава о коришћењу).

Б. Кратак преглед остварених резултата

У испитивањима у оквиру ове докторске дисертације коришћени су репрезенти реалних узорака е-отпада, односно одабраних категорија ОШП као носиоца вредних метала. Оригинално дизајнираним експериментом пиро-електрометалуршког третмана ОШП добијени су узорци који осликавају будуће системе рециклаже искључиво е-отпада, а који су коришћени у експерименталном раду дисертације. Проучена су три система добијања метала и контроле промена хемијске форме калаја током хидро- и пиро-електрометалуршких трансформација е-отпада. Утврђене су физичко-хемијске карактеристике улазних материјала, којима је потврђена изразита сложеност истих у погледу хемијског и фазног састава, величине и морфологије. Одређене су термодинамичке карактеристике сложених реакција хидрометалуршког приступа добијања метала и оптимизовани су реакциони услови селективног добијања бакра, сребра, олова и злата интегралним приступом лужења истих из узорка гранулата ОШП. Утврђена је отежана контрола реакционог механизма и трансформација једињења калаја у постављеном систему, која ограничава његово искоришћење из е-отпада на свега 55,4%, у односу на почетну масу у узорку, те добијање у облику високостабилног хидратисаног калај(IV)-оксида (метастанатна киселина). Сви добијени производи такође су физичко-хемијски окарактерисани на основу чега је закључена висока

ефикасност примењених реакционих услова (92,4% Cu, 98,5% Pb, 96,8% Ag и преко 99% Au у односу на њихову почетну масу у узорку). Добијени резултати лабораторијског испитивања успешно су репродуковани на увећаном нивоу, чиме је омогућено свеобухватно сагледавање система и конструисање предлога процесне шеме обједињеног хидрометалуршког приступа добијања метала из ОШП. Проучавање другог система, са фокусом на трансформацију метастанатне киселине из чврстих производа пиро-електрометалуршког третмана е-отпада у растворна једињења калаја резултовало је дефинисањем оптималних реакционих услова и ограничавајућих фактора процеса. Расветљен је механизам трансформације, што је по први пут урађено у оквиру ове дисертације. Лабораторијски резултати су успешно репродуковани на увећаном тесту и одређена је кинетика растварања. Ефикасност растварања метастанатне киселине од преко 99% постигнута је уклањањем сумпорних једињења из узорка а који имају инхибиторски ефекат те формирањем интермедијера уз ослобађање гасовитог водоника у киселим хлоридним условима ($6 \text{ mol/dm}^3 \text{ HCl}$) и уз учешће Mg^0 као јаког редуccionог средства. Испитивањем и оптимизацијом реакционих услова у оквиру трећег испитиваног система течно-течне екстракције бакра из електролита као течног производа пиро-електрометалуршког третмана е-отпада остварена је контрола кретања калаја и још седамнаест пратећих јона метала. Утврђено је да разгранати алдоксим као хемијска врста активног центра екстракционог средства има преимућство над алдоксим/кетоксимском мешавином, независно од учешћа модификатора у саставу органске фазе. Утврђено је да селективност процеса зависи од врсте, концентрације и удела органске фазе у систему док је за ефикасност екстракције и ре-екстракције од пресудног значаја концентрација H^+ јона у систему, односно рН вредност. При дефинисаним оптималним реакционим условима и израдом масеног биланса утврђено је да јони В, Са, Mg, Na, Pb, Ga, и Ge квантитативно заостају у рафинату док јони метала најизраженијег потенцијала ко-екстракције (Sn, Fe, Ni и Zn) заједно са јонима присутним у траговима (Al, Bi, Cd, Co, Cr, Mn, Sb) у рафинату заостају са преко 90% своје улазне масе. Оваква контрола реакционог система омогућава ефикасну и селективну екстракцију бакра из раствора преоптерећеног нечистоћама (88,1% ефикасност екстракције и 95,3% ефикасност ре-екстракције у једном реакционом кораку, а квантитативно у теоријски одређеним корацима: 3 за екстракцију и 2 за ре-екстракцију). На основу лабораторијских и резултата тестова на увећаном нивоу, затим дефинисаним механизмима и реакционим ограничењима и на крају одређеног масеног биланса изучаваних система, дат је предлог процесне шеме трансформације једињења метала и њиховог добијања из производа пиро-електро-хидрометалуршког третмана ОШП. Остваривањем постављених задатка постигнут је генерални циљ дисертације који је био контрола механизма трансформација једињења калаја и других метала у сложенем систему хидро-пиро-електрометалуршког третмана е-отпада кроз расветљавање реакционих процеса чиме се генерално доприноси смањењу губитка вредних метала кроз постојеће токове рециклаже и ефикасном враћању истих у производне токове.

В. Упоредна анализа резултата кандидаткиње са резултатима из литературе

Преко 75% цитираних референци чине радови међународног значаја, од чега је скоро 60% публиковано у последњих 5 година. Предметна дисертација настала је као последица сагледавања стања области истраживања описаног у светској литератури односно недостатака процеса који се традиционално примењују у рециклажним токовима добијања метала из е-отпада, односно ОШП као вредног секундарног материјала. Поменути недостаци огледају се у недовољно ефикасним и

селективним методама или у изостанку свеобухватног приступа поновног добијања метала што је последица неадекватности метода услед нерасветљених сегмената хемијске основе истих [1,2]. Детаљним прегледом тренутног стања на пољу трендова генерисања и рециклаже е-отпада, односно ОШП и сагледавања метода и искоришћења метала применом истих, установљено је да се већина истраживања своди на добијање бакра или племенитих метала, у складу са захтевима оператера. Добијање других метала, попут калаја, није у истраживачком фокусу, најчешће због неадекватности традиционално примењиваних процеса [3,4]. Већина доступних резултата проистекла је из проучавања синтетских система који само бледо осликавају физичко-хемијску сложеност реалних система третмана е-отпада. Иако постоје подаци о интегралном приступу добијања бакра и племенитих метала, нису познати резултати испитивања на увећаним тестовима свеобухватног добијања метала који би дали објективну слику примењених метода у рециклажном току [5,6]. У овој дисертацији по први пут дат је предлог добијања бакра, калаја, сребра, олова и злата из узорка гранулата ОШП, секвенцијалним приступом селективног издвајања циљаних метала из реалног система, применом једноставних метода, а који је испитан и на увећаном лабораторијском тесту. На овај начин установљена је отежана контрола механизма трансформације калаја и сагледани су недостаци хидрометалуршког приступа третмана искључиво е-отпада као улазног материјала. Литературни подаци у вези другог система испитиваног у оквиру ове дисертације указују на недостатке информација у погледу контроле промене метастанатне киселине. Док је пирометалуршки приступ трансформације овог једињења добро описан, ипак не нуди селективност издвајања калаја [7]. У хидрометалуршком приступу, неретко се процес добијања калаја зауставља управо настанком метастанатне киселине а мали број истраживања односи се на растварање овог једињења; притом, постојећи резултати су опречни [8,9]. У овој дисертацији по први пут је оптимизован реакциони процес трансформације метастанатне киселине у раствору једињења калаја, дефинисани су инхибитори реакције и расветљен је реакциони механизам. По први пут су резултати испитани на увећаном тесту, одређена кинетика процеса, а све користећи реалне узорке добијене оригинално дизајнираним пиро-електрометалуршким приступом третмана искључиво е-отпада. Оваквом методологијом, поред ефикасне трансформације метастанатне киселине од 99%, омогућено је поновно добијање калаја из ОШП, смањење његовог губитка и враћање у производне токове. У вези трећег система проучаваног у оквиру ове дисертације, бројни литературни подаци о примени течно-течне екстракције за добијање бакра из сулфатних система, најчешће се заснивају на примени ове методе након претходног пречишћавања раствора електродепозицијом бакра и у којима се већином прати само утицај јона гвожђа на ефикасност и селективност процеса, а који је претежно негативан [10,11]. Подаци о кретању и утицају других јона метала неизбежно присутних у рециклажним токовима е-отпада су у најбољем случају оскудни а оптимална хемијска врста активног центра екстракционог средства која би омогућила ефикасно и селективно добијање бакра из хемијски комплексног система, а без претходних корака пречишћавања, готово да није дефинисана [12]. У овој дисертацији по први пут је метода течно-течне екстракције примењена на реалном електролиту сложеног хемијског састава, добијеног специјално дизајнираним пиро-електрометалуршким приступом третмана искључиво е-отпада; утврђена је оптимална хемијска врста екстракционог средства која омогућава селективност процеса у хемијски сложену систему а без претходног пречишћавања; утврђена је расподела деветнаест јона метала и постигнута је контрола кретања калаја оптимизацијом реакционих услова.

Литература:

1. Hsu, E.; Barmak, K.; West, A.C.; Park, A.-H.A. Advancements in the Treatment and Processing of Electronic Waste with Sustainability: A Review of Metal Extraction and Recovery Technologies. *Green Chemistry* 2019, *21*, 919–936, doi:10.1039/C8GC03688H.
2. Rocchetti L.; Amato A.; Beolchini F. Printed Circuit Board Recycling: A Patent Review, *Journal of Cleaner Production* 2018, *178*, 814–832, doi:10.1016/j.jclepro.2018.01.076.
3. Reck, B.K.; Graedel, T.E. Challenges in Metal Recycling. *Science* 2012, *337*, 690–695, doi:10.1126/science.1217501.
4. Hao, J.; Wang, Y.; Wu, Y.; Guo, F. Metal Recovery from Waste Printed Circuit Boards: A Review for Current Status and Perspectives. *Resources, Conservation and Recycling* 2020, *157*, 104787, doi:10.1016/j.resconrec.2020.104787.
5. Gámez, S.; Garcés, K.; de la Torre, E.; Guevara, A. Precious Metals Recovery from Waste Printed Circuit Boards Using Thiosulfate Leaching and Ion Exchange Resin. *Hydrometallurgy* 2019, *186*, 1–11, doi:10.1016/j.hydromet.2019.03.004.
6. Behnamfard, A.; Salarirad, M.M.; Veglio, F. Process Development for Recovery of Copper and Precious Metals from Waste Printed Circuit Boards with Emphasize on Palladium and Gold Leaching and Precipitation. *Waste Management* 2013, *33*, 2354–2363, doi:10.1016/j.wasman.2013.07.017.
7. Ding, Y.; Zhang, S.; Liu, B.; Li, B. Integrated Process for Recycling Copper Anode Slime from Electronic Waste Smelting. *Journal of Cleaner Production* 2017, *165*, 48–56, doi:10.1016/j.jclepro.2017.07.094.
8. Mecucci, A.; Scott, K. Leaching and Electrochemical Recovery of Copper, Lead and Tin from Scrap Printed Circuit Boards. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology* 2002, *77*, 449–457, doi:10.1002/jctb.575.
9. Jha, M.K.; Kumari, A.; Choubey, P.K.; Lee, J.; Kumar, V.; Jeong, J. Leaching of Lead from Solder Material of Waste Printed Circuit Boards (PCBs). *Hydrometallurgy* 2012, *121–124*, 28–34, doi:10.1016/j.hydromet.2012.04.010.
10. Wang, L.; Li, Q.; Sun, X.; Wang, L. Separation and Recovery of Copper from Waste Printed Circuit Boards Leach Solution Using Solvent Extraction with Acorga M5640 as Extractant. *Separation Science and Technology* 2019, *54*, 1302–1311, doi:10.1080/01496395.2018.1539106.
11. Asghari, H.; Safarzadeh, M.S.; Asghari, G.; Moradkham, D. The Effect of Impurities on the Extraction of Copper from Sulfate Medium Using LIX®984N in Kerosene. *Russian Journal of Non-Ferrous Metals* 2009, *50*, 89–96, doi:10.3103/S1067821209020035.
12. Kumari, A.; Jha, M.K.; Lee, J.; Singh, R.P. Clean Process for Recovery of Metals and Recycling of Acid from the Leach Liquor of PCBs. *Journal of Cleaner Production* 2016, *112*, 4826–4834, doi:10.1016/j.jclepro.2015.08.018.

Г. Објављени радови и саопштења која чине део дисертације

Рад у врхунском међународном часопису (M21)

1. **Djokić, J.;** Radovanović, D.; Nikolovski, Z.; Andjić, Z.; Kamberović, Ž. Influence of Electrolyte Impurities from E-Waste Electrorefining on Copper Extraction Recovery. *Metals* 2021, *11*, 1383, (IF 2,351), doi:10.3390/met11091383.

2. Kamberović, Ž.; Ranitović, M.; Korać, M.; Andjić, Z.; Gajić, N.; **Djokić, J.**; Jevtić, S. Hydrometallurgical Process for Selective Metals Recovery from Waste-Printed Circuit Boards. *Metals* 2018, 8, 441, (IF 2,259), doi:10.3390/met8060441,

Рад у истакнутом међународном часопису (M22)

1. **Djokić, J.**; Jovančičević, B.; Brčeski, I.; Ranitović, M.; Gajić, N.; Kamberović, Ž. Leaching of Metastannic Acid from E-Waste by-Products. *Journal of Material Cycles and Waste Management* 2020, 22, 1899–1912, (IF 2,863), doi:10.1007/s10163-020-01076-5.

Саопштење са скупа међународног значаја, штампано у целини (M33)

1. Ranitović M.; **Đokić J.**; Kamberović Ž.; Korać M.; Sokić M.; Debelak M. Improving the WEEE Potentials: Comprehensive Characterization of Magnetic Fraction and Proposal for Recycling Process. *VIIIth International Metallurgical Congress, Ohrid* 2018.
2. **Đokić, J.**; Ranitović, M.; Zarić, A.; Kamberović, Ž. Dust from e-waste mechanical treatment as a valuable material. *51st International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor Lake, Serbia*, 16 - 19 October 2019, 299-302, ISBN 978-86-6305-101-0.

Саопштење са скупа међународног значаја, штампано у изводу (M34)

1. Mandić, M.; **Đokić, J.**; Gajić, N.; Uljarević, J.; Kamberović, Ž. Production of technology metals from waste electronics. *Young Researchers conference 2019, Belgrade, Serbia*, 26-27 March 2019, 42, ISBN 978-86-84231-48-4.
2. Kamberović, Ž.; Ranitović, M.; Korać, M.; **Đokić, J.**; Gajić, N.; Jovanović, N. Integrated recycling of the critical raw materials from waste electronics. *Metallurgical & Materials Engineering Congress of South-East Europe, Belgrade, Serbia*, 5 – 7 June 2019, 37, ISBN 978-86-87183-30-8.
3. Milošević, A.; Kamberović, Ž.; Manojlović, V.; **Djokić, J.**; Gajić, N. Characterization of waste computers processors and proposal of the metals valorization process. *Circular economy and environmental labelling, Novi Sad, Serbia*, 29 January 2021, 5, ISBN 978-86-6022-311-3.

Д. Провера оригиналности докторске дисертације

Оригиналност ове докторске дисертације је проверена на начин прописан Правилником о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду (Гласник Универзитета у Београду, бр.204/22.06.2018). Применом програма „iThenticate” је извршена провера оригиналности докторске дисертације **„Трансформације једињења калаја и других метала током пиро-електро-хидрометалуршког третмана електронског отпада”**, аутора **Јоване М. Ђокић**, и утврђено је да подударање текста износи 4%. Овај степен подударности последица је тзв. општих места и података, као и претходно публикованих резултата истраживања проистеклих из дисертације, што је у складу са чланом 9. Правилника.

Стога сматрамо да је утврђено да је докторска дисертација **Јоване М. Ђокић** у потпуности оригинална, као и да су у потпуности поштована академска правила цитирања.

Б. Закључак

Комисија је на основу детаљног прегледа докторске дисертације под насловом **„Трансформације једињења калаја и других метала током пиро-електро-хидрометалуршког третмана електронског отпада“** закључила да је кандидаткиња **Јована М. Ђокић** успешно одговорила на постављене задатке у вези расветљавања хемијских услова и реакционих механизма трансформације једињења метала и контроле калаја кроз пиро-електро-хидрометалуршки третман е-отпада а у циљу генералног смањења губитка вредних метала у постојећим рециклажним токовима и њиховог ефикаснијег враћања у производне токове.

Научно-истраживачки рад кандидаткиње публикован је у оквиру три научна рада која су директно проистекла из докторске дисертације: два у врхунским међународним часописима (категирија М21) и један у истакнутом међународном часопису (категирија М22). Такође, резултати истраживања у вези ове дисертације су саопштени на скуповима међународног значаја, категорија М33 и М34. Комисија је мишљења да резултати објављени у поднетој докторској дисертацији представљају значајан допринос проучавању хемијских феномена и реакционих ограничења на пољу добијања вредних метала из е-отпада као секундарне сировине.

На основу свега изложеног, а у складу са Законом о Универзитету и Статутом Хемијског факултета, Комисија сматра да су испуњени услови за одбрану докторске дисертације и са задовољством предлаже Наставно-научном већу Хемијског факултета Универзитета у Београду да поднету докторску дисертацију **Јоване М. Ђокић**, мастер хемичара, под насловом **„Трансформације једињења калаја и других метала током пиро-електро-хидрометалуршког третмана електронског отпада“** прихвати и одобри њену одбрану за стицање академског звања доктора хемијских наука.

Комисија:

др Бранимир Јованчићевић, редовни професор
Универзитета у Београду - Хемијског факултета

др Илија Брчески, редовни професор
Универзитета у Београду - Хемијског факултета

др Жељко Камберовић, редовни професор
Универзитета у Београду - Технолошко-
металуршког факултета