

4-122/125
28. 08. 2025.

ВЕЋУ ДЕПАРТМАНА ЗА ПОСЛЕДИПЛОМСКЕ СТУДИЈЕ
УНИВЕРЗИТЕТА СИНГИДУНУМ

Београд
Данијелова 32

Одлуком Већа Департмана за последипломске студије Универзитета Сингидунум, број 4-170/2023, од 28.09.2023. године, одређени смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Ане Тасић под називом: *“Модел оптимизације рециклаже чврстог комуналног отпада”*. После прегледа достављене дисертације и пратећих материјала, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. Увод

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Ана Тасић је уписала докторске студије на студијском програму Животна средина и одрживи развој, Универзитет Сингидунум, школске 2021/2022. године када јој је одобрен прелазак са мултидисциплинарних докторских студија при Универзитету у Београду, при чему је признато 60 ЕСП бодова. У јуну 2023. године подноси захтев за прихватање теме за израду докторске дисертације. Веће Департмана за последипломске студије Универзитета Сингидунум на седници одржаној 28.9.2023. године одобрава израду пријављене докторске дисертације под називом: *“Модел оптимизације рециклаже чврстог комуналног отпада”*. На истој седници донета је и одлука о образовању Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације у саставу:

1. Проф. др Мирослав Поповић, Универзитет Сингидунум
2. Проф. др Небојша Бачанин-Џакула, Универзитет Сингидунум
3. др Марко Миленковић, виши научни сарадник, Институт друштвених наука

1.2. Научна област дисертације

Тема дисертације кандидата је у домену научних области „управљање отпадом“, „одрживи развој“ и „науке о заштити животне средине“, за које је студијски програм Животна средина и одрживи развој Универзитета Сингидунум матичан.

1.3. Биографија кандидата

Кандидат Ана Тасић је рођена 29. новембра 1985. године у Београду, где је завршила основну школу и Дванаесту београдску гимназију „Димитрије Туцовић“. Дипломирала је 2012. године у области заштите животне средине и 2015. године у области географије, стекнувши звања дипломирани аналитичар заштите животне средине (Факултет за примењену екологију Футура, Универзитет Сингидунум) и дипломирани професор географије (Природно-математички факултет, Универзитет у Новом Саду). Године 2013. завршава мастер студије и стиче звање мастер аналитичар заштите животне средине (Факултет за примењену екологију Футура, Универзитет Сингидунум).

За време свог образовања учествовала је на више међународних пројеката, радионица и кампова у Србији, Босни и Херцеговини и Финској у области заштите животне средине и регионалног развоја, а који су финансирани од стране организација као што су Европска агенција за заштиту животну средину (ЕЕА), Организација за европску безбедност и сарадњу (OSCE), Немачка служба за академску размену (DAAD).

Током 2016. и 2017. године ангажована је као сарадник Градског завода за вештачења Београд. Радила је као саветник на техничким прегледима објеката у области заштите животне средине и вештачења у споровима на општинском нивоу у истој области. Ради као наставник географије у школама у Београду. Аутор је више научних радова у области географије и заштите животне средине.

Течно говори енглески (IELTS сертификат), познаје основе немачког и мађарског језика.

Као члан државне рагби репрезентације (рагби 7 и рагби 15) такмичила се на међународном нивоу и учествовала је на више европских првенстава у периоду од 2007. до 2013. године. Завршила је двостепени курс фотографије Удружења професионалних фотографа Србије.

2. Опис дисертације

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација под називом „Модел оптимизације рециклаже чврстог комуналног отпада“ има 134 стране, 6 поглавља и списак литературе. Поглавља са првим нивоом потпоглавља су:

1. Увод

1.1. Отпад: стварање, састав и проблеми

1.2. Управљање чврстим комуналним отпадом

1.3. Правни оквир и политика заштите животне средине на европском, националном и локалном нивоу

1.4. Управљање комуналним отпадом у Београду – актуелно стање

2. Предмет и циљ рада

2.1. Основне хипотезе

3. Материјали и методе

3.1. Социодемографски профил испитаника

3.2. Структура анкете

3.3. Методе вештачке интелигенције за сепарацију чврстог комуналног отпада

4. Резултати истраживања

4.1. Резултати спроведене анкете

4.2. Сепарација чврстог комуналног отпада употребом вештачке интелигенције

5. Дискусија

6. Закључак

Литература

Дисертација садржи 45 табела и 34 слике. Литература обухвата 356 библиографских јединица.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Уводно поглавље даје опште смернице дисертације, кратак преглед историјског развоја идеје заштите животне средине, приказ карактеристичних проблема и циљева у Републици Србији. Поглавље се састоји од четири потпоглавља. Прво потпоглавље „Отпад: стварање, састав и проблеми“ састоји се од три дела. У првом делу дефинишу се основни појмови, анализирају генерисане количине комуналног отпада у Европи крајем 20. и почетком 21. века, као и количине генерисаног отпада из домаћинстава на територији Србије, приказани су индикатори комуналног отпада у Србији за период од 2011. године са пројекцијом за 2030. годину. Други део анализира састав и тренд промене састава чврстог комуналног отпада, као и разлику морфолошког састава зависно од економског развоја земље. Приказан је и састав комуналног отпада у Србији и Београду, као и приказ промене састава отпада у Београду 2016. године у односу на 2009. годину. Трећи део потпоглавља бави се проблемима који се могу јавити у заједници услед нагомилавања отпада.

Друго потпоглавље Увода „Управљање чврстим комуналним отпадом“ разматра систем управљања отпадом са посебни освртом на стратегију циркуларне економије и аспект развоја заједнице без отпада („zero waste“). Анализирана је стопа кружења материјала у државама Европе, а као пример добре праксе достизања циља „zero waste“ система приказан је случај Љубљане. У овом делу Увода приказан је третман чврстог комуналног отпада и анализиран начин третирања у Србији. Поглавље детаљно описује процесе термичке обраде отпада као што су: спаљивање, пиролиза и гасификација; затим биолошки третман отпада (компостирање и анаеробна дигестија), као и рециклирање чврстог комуналног отпада са анализом стања у појединим европским државама. Посебно је презентовано одлагање отпада на депоније као и његов негативан утицај на животну средину и здравље људи. Будући да се у почетним фазама третирања отпада као водећи проблем јавља сепарација отпада, део поглавља је посвећен овом проблему као и могућностима употребе вештачке интелигенције у превазилажењу истог.

Трећи део „Правни оквир и политика заштите животне средине на европском, националном и локалном нивоу“ анализира развитак европске еколошке политике кроз

четири фазе развоја, као и важеће прописе и принципе којима се води политика Европске уније. Приказан је детаљан законски оквир Републике Србије који је уско везан за управљање отпадом са посебним нагласком на Закон о заштити животне средине, Закон о интегрисаном спречавању и контроли загађивања животне средине, Закон о управљању отпадом и Закон о амбалажи и амбалажном отпаду. Разматрана је стратегија локалне политике града Београда у области управљања отпадом, као и усаглашеност политика Србије са политикама Европске уније.

Четврто потпоглавље Увода приказује актуелно стање управљања отпадом на територији Београда. Анализирају се количине сакупљеног отпада мешаног и примарно селектованог и њихов морфолошки састав према општинама и типу насеља. Приказано је сакупљање и третирање отпада за појединачне општине/делове града.

Друго поглавље представља предмет рада, дефинише значај обрађене теме и објашњава циљ докторске дисертације. Такође, представљене су и почетне хипотезе истраживања.

У трећем поглављу представљени су коришћени материјали и описане су примењене методе. Детаљно је изложена анкета коришћена у истраживању са приказом социодемографског профила испитаника и структуре спроведене анкете. Такође, подробно су објашњене методе коришћене за тестирање употребе вештачке интелигенције за класификацију отпада.

Четврто поглавље представља резултате и анализира добијене податке спроведеног истраживања. Систематично је представљена статистичка анализа спроведене анкете и представљени су мотивациони фактори испитаника за подстицај ангажовања становништва у сепарацији отпада. У обзир је узет и социодемографски профил испитаника. Други део поглавља представља резултате експеримента употребе конволутивне неуронске мреже оптимизоване МСОА алгоритмом заједно са AdaBoost и XGBoost моделима за препознавање и сепарацију различитих класа отпада на основу слика. Детаљно је приказан исход огледа тестираног алгоритма.

Пето поглавље рада анализира и дискутује добијене резултате и предлаже оптимизован модел сепарације чврстог комуналног отпада у Београду у складу са културолошким потребама локалног становништва, како би се повећао степен рециклаже. Овакав план омогућио би да се Београд приближи циљу смањења коначно депонованог отпада и развоју циркуларне економије.

Последње поглавље укратко указује на проблеме тренутног стања система управљања отпадом, указује на развојне могућности и даје смернице за даљи развитак у остваривању циља одрживог градског система са високим степеном рециклаже отпада.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Управљање отпадом и редукција његовог утицаја на животну средину представља кључно питање заштите животне средине. У савременим развијеним друштвима настоји се очувању ресурса и смањењу количине отпада коју појединац ствара; циљ је да ресурси

остану у употреби што је дуже могуће и да се након коришћења поново укључе у производни процес. Стога је за примарни циљ ове дисертације одабрана оптимизација процеса рециклаже, која би заједницу приближила циљевима циркуларне економије и остварила бенефите за животну средину.

Истраживање се бави управљањем чврстим комуналним отпадом са фокусом на сепарацију према врсти отпада, тј. припреми отпада за рециклажу како од стране грађана тако и употребом вештачке интелигенције. Анализирају се могућности организовања примарног разврставања отпада, од неопходне инфраструктуре до фактора који утичу на мотивисаност грађана да активно учествују. Будући да је за потребе рада спроведено анкетно истраживање на територији Београда добијени резултати су актуелни и осликавају савремене културолошке потребе локалног становништва. Део студије бави се коришћењем машинског учења за разврставање отпада. Истраживања спроведена у последњих неколико година показала су да употреба вештачке интелигенције даје значајне резултате у разврставању отпада и може бити од велике помоћи при припреми отпада за рециклажу. Конволутивне неуронске мреже (CNN), са интегрисаном опремом за сортирање, имају значајан потенцијал за коришћење у разврставању отпада. У литератури се могу наћи дискусије и примене различитих структура CNN-а за сортирања отпада помоћу слика. Ова студија је испитивала употребу CNN-а прилагођену помоћу новог модификованог оптимизационог Crayfish алгорита (MCOA). Висок ниво прецизног сортирања постигнут је AdaBoost и XGBoost моделима и достиже 89,614% тачности препознавања класе отпада са слике. Будући да се Србија обавезала на усклађивање унутрашњег законодавства са правним тековинама ЕУ Резолуцијом о придруживању Европској унији, политичко–правни аспект истраживања посматра Србију кроз развој еколошких политика и актуелних законских регулатива, као и њен однос према европским политикама.

На основу добијених резултата формиран је оригинални модел одрживог управљања отпадом са фокусом на сортирање чврстог комуналног отпада прилагођен овдашњој друштвеној заједници. Студија предлаже прилагођене мере које могу обезбедити унапређење понашања грађана при одлуци да разврставају отпад, већу стопу сортираног отпада, а тиме на крају и побољшање рециклаже, приближавање циркуларној економији и одрживом коришћењу ресурса. Ово представља основни услов за смањење одлагања отпада на депонијама што доноси здравствене, еколошке и естетске бенефите локалној заједници.

Тема докторског рада је актуелна, а резултати истраживања, формирање модела и предложене мере, могу бити имплементирани у савремене системе одрживог управљања комуналним отпадом и пружити подршку при доношењу одлука у просторном планирању.

Резултати истраживачког рада потврђени су објављивањем научног рада у међународном часопису са SCI листе, категорије M21. Проценат плагијаризма у дисертацији износи 4%.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

За потребе истраживања и израду дисертације коришћена је стручна и научна литература у виду књига и научних публикација (међународних научних часописа) из области управљања отпадом, заштите животне средине, одрживог развоја, информационих технологија. Подаци и публикације за истраживање су преузети и добијени од надлежних државних органа, организација и институција (агенција, завода, јавних комуналних предузећа), као и од релевантних међународних тела и организација. Такође, коришћена су правна и стратешка документа Републике Србије и Европске уније. Употребом релевантних и актуелних референци омогућено је стручно интерпретирање оригиналних научних резултата истраживања.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Узимајући у обзир карактеристике и специфичности истраживања одабране су конкретне методе и технике прикупљања и обраде података у складу са основним научним захтевима. Истраживање је спроведено користећи комбинацију стандардних научних метода, као што су анализа и синтеза, статистички метод, анкета. Изучавањем сазнања шире научне заједнице у домену истраживање проблематике, као и анализом и синтезом података актуелног стања код нас, уочен је и дефинисан проблем који представља предмет истраживања.

Правном методом истраживана је правна регулатива као и њен развој, у области заштите животне средине, са посебним нагласком на управљање отпадом како Европске уније тако и националне законске регулативе. Компаративном анализом поређене се политике Европске уније и националне и локалне политике у области управљања отпадом, са акцентом на прикључивање Србије ЕУ.

Подаци су, за део истраживања, прикупљени техником анкетирања. Анкета има форму стандардизованог интервјуа и садржи затворена питања чињеничног типа, било дихотомна или са више понуђених одговора и једно питање отвореног типа. За оцену подстицајних фактора коришћена је петостепена Ликертова скала. Добијени резултати су утврђени и проверени статистичким методама (χ^2 тестом, аритметичка средина и стандардна девијација). Систематизацијом и синтезом ових података добијени су подаци од значаја за даље истраживање. Део истраживања је спроведен употребом CNN-а. Тестирана је употреба модификованог оптимизационог Crayfish алгоритма за препознавање класе отпада, побољшан AdaBoost и XGBoost моделима. Резултати експеримента су утврђени и проверени мерама као што су: Коенова капа, f1-мера, прецизност и опозив, Вилкоксонов тест.

Тумачење и синтеза свих прикупљених података послужила је за формирање конкретног модела оптимизације сортирања отпада у сврху унапређења процеса рециклаже чврстог комуналног отпада у Београду и усклађивања истог са особеностима локалног друштва.

У складу са дефинисаним предметом и циљем истраживања одређене су хипотезе докторске дисертације. Општа хипотеза указује на проблематику управљања отпадом у процесу рециклаже, а то је могућност прилагођавања система на такав начин да се

потенцира ангажовање грађана у сортирању отпада. Могуће је развити такав модел где ће грађани бити мотивисани да учествују, а реализација истог донела би бенефите за одрживи развој локалне заједнице, за приближавање циркуларној економији, за заштиту животне средине и ефикасније коришћење ресурса.

3.4. Применљивост остварених резултата

У Републици Србији организованост система управљања отпадом са циљем третирања отпада, пре него његовог депоновања, није на адекватном нивоу. Како Србија тежи приближавању циљева Европске уније, а тиме и стратегији одрживој циркуларној економији, неопходно је прилагодити систем како би се ресурси задржали у употреби што је дуже могуће и након употребе поново вратили у производни процес. Додатни еколошки проблем Србије јесте и постојање неадекватно опремљених депонија као и константно настајање дивљих депонија. Променом система управљања отпадом у циљу повећања степена рециклаже еколошки проблеми Србије могу се значајно смањити.

Циљ дисертације је да направи модел управљања отпадом са тежиштем на ангажовање грађана при сепарацији отпада. Применом резултата истраживања формиран је конкретан модел специфично прилагођени нашим економским условима, социјалном и друштвеном аспект, као и културолошким одликама локалног становништва Београда. Као додатни систем сепарације примењује се CNN прилагођена тестираним модификованим Crayfish оптимизационим алгоритмом. Применом оваквог модела решава се проблематика првог корака и круцијалног дела рециклажног процеса.

Ова студија указује на критичне области генерисања и управљања отпадом у Београду, обезбеђује подршку подацима и даје правце за дефинисање стратешких приоритета у области одрживог управљања отпадом. Имајући у виду развој како европских тако и националних политика предложен модел обезбеђује помоћ у успостављању транспарентне и ефективне модерне националне политике у области управљања отпадом. Резултати истраживања се могу употребити за просторно и урбано планирање, унапређење постојећег система и имплементацију нових система управљања отпадом. Основни циљ јесте унапређење квалитета живота и здравља локалног становништва, очување природних ресурса и приближавање комуналних система одрживој економији развојем модела који ће допринети повећању сортирања отпада, а тиме и степену рециклирања.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самосталан научни рад

Кандидат је током израде докторске дисертације демонстрирао кључне квалитете за бављење истраживачким радом и презентацију научних резултата. Показао је способност препознавања и дефинисања проблема, постављања јасних и достижних циљева истраживања, као и разумевање и проширивање теоријских оквира. Кандидат је способан да самостално осмисли, креира и спроведе истраживање, постави и тестира хипотезе и критички анализира добијене резултате. Рад кандидата одликују оригиналност, методолошка доследност и прецизност.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Оригинални научни доприноси дисертације су следећи:

- Сprovedена анкета пружила је јединствене податке и увид у факторе и мотиваторе који утичу на одлуку грађана Београда да активно учествују у сепарацији отпада.
- Утврђено је да актуелно стање и организација управљања отпадом у Београду није у складу са ставовима и потребама грађана како би се обезбедио висок ниво сепарације отпада на примарном нивоу.
- Тестирана је конволутивна неуронска мрежа оптимизована новим модификованим Crayfish алгоритмом за препознавање слика различитих класа чврстог комуналног отпада и добијени резултати су показали значајну прецизност.
- На основу добијених резултата истраживања формиран је оптимизован модел рециклаже чврстог комуналног отпада прилагођен локалним културолошким чиниоцима, социјалним феноменима и економским условима.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

У почетној фази израде докторске дисертације кандидат је проучавањем доступне литературе у домену истраживане проблематике дисертације спровео критичку анализу доступних сазнања стручне и научне заједнице, уочио проблем и прецизно дефинисао циљ истраживања. Током истраживачког рада, кандидат је анализирао добијене резултате, извео научно утемељене закључке, допринео развоју области и предложио даље правце за унапређење стања и будућа истраживања.

Кандидат се посебно осврће на уобичајене праксе третирања отпада и могућности унапређења система управљања отпадом. Упоредном анализом стања у европским државама и доступним сазнањима критички приступа проблематици управљања отпадом на територији Београда. Анализом актуелног стања у Београду и спровођењем истраживања приступа налажењу оптималног решења. Посебно анализира могућности сепарације чврстог комуналног отпада, услове и факторе који утичу на примарну сепарацију, као и могућности примене машинског учења за класификовање отпада на основу слика.

Предности предложених мера огледају се у позитивним ефектима на животну средину и локално становништво: у унапређењу система управљања отпадом, приближавању отпада бољем искоришћењу као ресурса, потенцијалној редукцији званичних и дивљих депонија, продужењу века трајања депонија, унапређењу естетских карактеристика простора. Селектовано прикупљање отпада и кооперација становништва економски би допринели процесу рециклаже (смањили би се трошкови додатног пречишћавања отпада, спречио би се губитак ресурса и брже би се остварили приходи

од продаје истих, смањили би се трошкови екстракције и добијања сировина), али у почетној фази имплементација предложеног модела захтевала би веће финансијске трошкове.

4.3. Верификација научних доприноса

Научни доприноси ове дисертације верификовани су следећим радом у часопису категорије M21:

Tasic, A., Jovanovic, L., Bacanin N., Zivkovic, M., Simic, V., Popovic M. & Antonijevic M. (2025). Towards sustainable societies: Convolutional neural networks optimized by modified crayfish optimization algorithm aided by AdaBoost and XGBoost for waste classification tasks. *Applied Soft Computing*, 175, 113086.

5. МИШЉЕЊЕ КОМИСИЈЕ И ПРЕДЛОГ

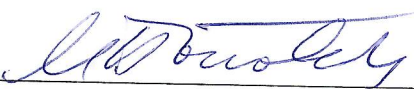
На основу изложеног, комисија констатује да докторска дисертација кандидата Ане Тасић под насловом „Модел оптимизације рециклаже чврстог комуналног отпада“ испуњава све формалне и суштинске услове предвиђене Законом о високом образовању, као и прописима Универзитета Сингидунум у Београду. Докторска дисертација Ане Тасић садржи научни допринос који се састоје у формирању конкретног модела за сортирање отпада, као круцијалном делу рециклаже, оптимизован изучаваној локалној средини, који ангажује становништво и користи вештачку интелигенцију како би се постигли најбољи резултати разврставања комуналног отпада. Овим се смањује оптерећење животне средине, отпад боље искоришћава, спречава губитак ресурса, редукује количина отпада на депонијама и позитивно утиче на локалну средину и становништво.

Кроз израду докторске дисертације кандидат је показао изузетан ниво способност за самостални истраживачки рад. Стога чланови Комисије са задовољством предлажу Већу департмана за последипломске студије да се докторска дисертација под насловом „Модел оптимизације рециклаже чврстог комуналног отпада“ кандидата Ане Тасић прихвати, изложи увиду јавности и упуту на коначно усвајање Сенату Универзитета Сингидунум у Београду.

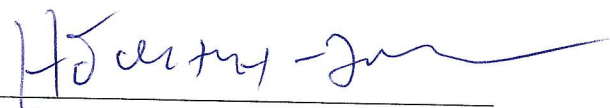
Београд, 28.8.2025. године

Чланови комисије:

Др Мирослав Поповић, ванредни професор
Универзитет Сингидунум, Београд



Др Небојша Бачанин-Цакула, ванредни професор
Универзитет Сингидунум, Београд



Др Марко Миленковић, виши научни сарадник
Институт друштвених наука, Београд