

УНИВЕРЗИТЕТ У БАЊОЈ ЛУЦИ  
ТЕХНОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ

Датум: 25.03.2015	ИМПРЕТА
15/1.509/15	



## ИЗВЈЕШТАЈ

*о оцјени урађене докторске тезе*

### ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ

Одлуком Наставно-научног вијећа Технолошког факултета Универзитета у Бањој Луци бр. 15/3.399-9/15 од 12.03.2015. године именовани смо у Комисију за оцјену и одбрану урађене докторске дисертације кандидата **мр Небојше Кнежевића**, под називом „Утицај структуре и фазе деградације комуналног отпада на састав процједних вода са депонија и избор поступака пречишћавања“.

Комисија у саставу:

1. **Др Љиљана Вукић**, ванредни професор Технолошког факултета Универзитета у Бањој Луци, ужа научна област Еколошко инжењерство, ментор;
2. **Др Милорад Максимовић**, редовни професор Технолошког факултета Универзитета у Бањој Луци, ужа научна област Процесно инжењерство, члан;
3. **Др Марина Илић**, редовни професор Факултета за екологију и заштиту животне средине Универзитета Никола Тесла у Београду, ужа научна област Управљање отпадом и одрживи развој, члан и
4. **Др Горан Вујић**, ванредни професор Техничког факултета Универзитета у Новом Саду, ужа научна област Инжењерство заштите животне средине и заштите на раду, члан,

прегледала је достављену докторску дисертацију и о својим запажањима и оцјени овог рада, Научно-наставном вијећу Технолошког факултета Универзитета у Бањој Луци подноси сљедећи:

## ИЗВЈЕШТАЈ

### 1. УВОДНИ ДИО ОЦЈЕНЕ ДОКТОРСKE ТЕЗЕ

Докторска дисертација кандидата **мр Небојше Кнежевића**, под називом „Утицај структуре и фазе деградације комуналног отпада на састав процједних вода са депонија и избор поступака пречишћавања“ написана је латиничним писмом (*Times*

*New Roman; фонт 12; проред 1,15*) прегледно, јасно и језички коректно, на укупно 200 страна а садржи 73 слике и 92 табеле. У дисертацији је кориштено 205 литературних навода.

Дисертација садржи шест поглавља: **Увод, Теоријски дио (Преглед литературе), Материјал и методе рада, Резултати и дискусија, Закључци, Литература**. Осим наведених поглавља, дисертација садржи сажетак на српском и енглеском језику, попис слика и табела, попис ознака и прилог.

## 2. УВОД И ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ

У уводном поглављу кандидат је описао **циљ и разлоге истраживања**, те назначио **полазне хипотезе и допринос истраживања** (поглавље 1). У теоријском дијелу рада кандидат је представио основе управљања комуналним отпадом, карактеристике процједних вода, поступака за пречишћавање, уз опсежан **преглед литературе** (поглавље 2).

У поглављу **Увод** (поглавље 1) кандидат је образложио основу докторске дисертације, гдје је дао преглед основних проблема управљања отпадом и процједним водама. Наводи се да још увијек, један од најзаступљених, иако најмање прихватљивих облика збрињавања комуналног отпада, јесте депоновање. Основни проблеми депоновања комуналног отпада су везани за њихов утицај на животну средину, а међу њима је свакако најизраженији проблем отпадних (процједних) вода. Ове отпадне воде у литератури се најчешће називају процједне воде, филтрат или, као енглески израз *landfill leachate*.

Кандидат такође наводи да правилан начин депоновања и управљања депонијом, између осталог, подразумијева прикупљање и збрињавање депонијских процједних вода (филтрата). Филтрат је у литератури дефинисан као процједна вода настала филтрацијом атмосферских вода кроз слојеве одложеног отпада, биохемијским процесима разградње отпада и издвајањем воде коју садржи отпад при депоновању. Кандидат даље истиче да састав и концентрација полутаната у процједним водама зависе од врсте депонованог отпада као и од старости депоније, односно процеса који се у њој одвијају. Даље, да процједне депонијске воде својим физичко - хемијским и микробиолошким саставом представљају велику опасност за површинске и подземне воде. Кандидат наводи да је, да би се приступило одабиру поступака за обраду процједних вода и минимизирао штетан утицај по животну средину, било потребно сагледати и анализирати све факторе утицаја које претходе настајању процједних вода. Наводи се да су количина и састав филтрата резултат сложених хидролошких, хемијских и биохемијских процеса на депонији, али и климатских и других појава, који константно варирају, од периода настанка депоније, преко периода њеног кориштења, до затварања и 20 – 30 година након тога. Процједне воде се формирају и током дугог временског периода, након затварања депоније, па их треба пречишћавати и када депонија више није у функцији. Стога је овај

проблем врло сложен, захтијева стално прилагођавање насталом стању, осцилацијама и потребама, те тражи примјену иновативних рјешења.

У потпоглављу (1.1.) **Сврха и циљеви истраживања**, кандидат као разлог истраживања истиче претходно наведене чињенице, те наводи да је докторска дисертација усмјерена на примјену научних метода у анализи утицаја структуре и фазе деградације комуналног отпада на састав процједних вода са депонија различите старости и опремљености, као и у избору одговарајућих техника и њиховог пречишћавања. Имајући у виду претходно наведено, као и чињеницу да већина депонија у Босни и Херцеговини не посједује никакав систем за пречишћавање процједних вода, већ да се те воде директно испуштају у водопријемнике, кандидат истиче да су ова истраживања била усмјерена ка анализи стања процједних вода са двије изабране депоније, које се разликују по времену активног рада и стандардима њихове изградње као и припреме за депоновање (санитарна и несанитарна депонија). За очекивати је било, да ће експериментални подаци показати да постоје разлике, како у саставу филтрата, тако и у количини филтрата ових вода, за сваку анализирану депонију. Исто тако, кандидат наводи да током ових научно осмишљених истраживања, треба да се добију директни подаци о утицају процједних вода на окружење кроз праћење релевантних параметара загађења. Посебна пажња посвећена је праћењу промјене у саставу и количини филтрата, како током различитих периода разградње отпада, тако и различитих услова у којима се та разградња врши, поредећи те вриједности са литературним.

У потпоглављу (1.2.) **Радне хипотезе** кандидат истиче да су постављени циљеви и одабрани приступи проблему рјешавања процједних вода, одредили неколико основних полазних научних хипотеза ове дисертације, а то су:

- Процједне воде са депонија комуналног отпада комплексног су састава и веома оптерећене токсичним супстанцама са израженим ризиком по све медије животне средине, посебно за подземне и површинске воде и околно земљиште;
- За утврђивање састава и количине процједних вода са депонија комуналног отпада неопходан је дугорочан и свеобухватан мониторинг;
- На састав и количину процједних вода значајно утиче вријеме рада депоније, односно фаза разградње присутног отпада, као и локални климатски услови;
- Оцјена квалитета и количине депонијских процједних вода може се ставити у корелацију са саставом и врстом одложеног отпада на депонији;
- Свеобухватна карактеризација депонијских процједних вода је предуслов за избор технологије пречишћавања ових вода;
- Избор техника пречишћавања процједних вода зависи од низа фактора који су у директној корелацији са: квалитетом и количином филтрата, захтјеваним степеном пречишћавања, прихватним капацитетом реципијента, подударношћу предложених техника и њиховом цијеном;
- Доступне технике обраде депонијских процједних вода, морају се прилагодити локалним условима и перформансама сваке од анализираних депонија.

Кандидат такође истиче да контрола негативних утицаја процједних вода на реципијент и успостављање мјера заштите путем постројења за пречишћавање ових вода, захтијева добро познавање биланса вода на депонији и биланса материја, као и однос количине и састава филтрата. Добијени резултати анализа процједних вода упоређивани су са постојећим националним и међународним прописима и стандардима, док су прорачунате количине филтрата, упоређиване са подацима доступним у радовима аутора који се баве сличном тематиком. Предложене технике за пречишћавање филтрата директно су усаглашене и провјерене на изабраним постројењима за пречишћавање. Овим приступом у истраживању било је могуће дати научни и практични допринос у рјешавању овог изузетно акутног проблема, који озбиљно нарушава шири животни простор. При избору техника пречишћавања, извршено је поређење еколошких, техничких, инвестиционих фактора и трошкова одржавања за све анализиране поступке обраде процједних вода.

Генерално, проведена истраживања би требала помоћи у сагледавању стварног стања на депонијама у БиХ и РС и шире, односно представљати модел за управљање процједним водама у условима различите структуре отпада који се на депонијама одлаже, као и различите старости и опремљености депонија. У том смислу, проведена опсежна истраживања, односно добијени резултати о саставу ових отпадних вода и изабрано технолошко рјешење за њихову обраду, у потпуности би могли потврдити постављене хипотезе.

У поглављу **Теоријски дио (Преглед литературе)** (поглавље 2) кандидат је дао преглед досадашњих научних истраживања у овој области. Кандидат истиче да су истраживања на пољу пречишћавања комуналних и индустријских отпадних вода врло заступљена у круговима, како домаће, тако и међународне научне јавности. Ове отпадне воде су по свом карактеру (квалитету и квантитету) доста препознатљиве па се и истраживања процеса пречишћавања лакше спроводе. Насупрот томе, процједне депонијске воде по свом саставу и количини, веома варирају, зависно од локације и типа депоније, због чега пречишћавање процједних вода захтијева доста сложенији и студиознији приступ. Тематика процједних вода је углавном заступљена у иностраној литератури, док се домаћи аутори далеко мање баве овим проблемом. Бројни литературни наводи, цитирани у овој докторској дисертацији су везани за најзначајнија сазнања у овој области, а објављени су углавном у иностраним часописима. Највећи дио података из литературе је новијег датума, односно, објављен је у задњих десетак година, при чему је 58 радова објављено у задњих пет година.

У овом поглављу кандидат даље износи сажете теоријске основе процеса управљања отпадом, изградње и експлоатације депонија, те проблематике настанка и пречишћавања процједних вода, са прегледом литературе. Литературни преглед је груписан и приказан у оквиру четири потпоглавља, и то: Комунални чврсти отпад (2.1); Законски прописи ЕУ и Републике Српске (2.2); Депоније комуналног чврстог отпада (2.3); Процједне воде са депонија комуналног отпада (2.4), и Поступци пречишћавања процједних вода (2.5).

У потпоглављу **Комунални чврсти отпад** дају се дефиниције и категорије отпада, образлажу се основе специфичних карактеристика комуналног отпада (врсте, начин настанка, сакупљања и депоновања). Такође у овом потпоглављу наведени су и основни приступи у хијерархији интегрисаног управљања отпадом код нас и у свијету. Дат је опис начина управљања комуналним отпадом у БиХ, као и анализа поступака крајњег збрињавања (депоновања) отпада у БиХ.

У потпоглављу **Законски прописи ЕУ и Републике Српске** кандидат је дао детаљан преглед цјелокупне релевантне законске регулативе Европске Уније у домену управљања отпадом и отпадним водама. Такође, у оквиру овог потпоглавља анализирана је и сва важећа законска и подзаконска регулатива Републике Српске у области управљања отпадом, заштите животне средине и заштите вода. Дата је упоредна анализа законодавства ЕУ и РС у погледу усаглашености домаћег законодавства са ЕУ директивама.

У потпоглављу **Депоније комуналног отпада** кандидат даје преглед начина управљања комуналним отпадом на принципу санитарног депоновања. Дат је преглед најновијих истраживања у области избора локације, изградње, функционисања и експлоатације санитарних депонија. Кроз ово потпоглавље кандидат је дао сажет преглед досадашњих искустава у начину изградње санитарних депонија комуналног отпада са нагласком на мултибаријерне заштите дна депоније, као и начина диспозиције процједних вода и депонијског гаса.

У потпоглављу **Процједне воде са депонија комуналног отпада**, дат је детаљан опис извора и начина настанка, састава и система за сакупљање процједних вода. У првом дијелу потпоглавља кандидат је дао преглед најновијих литературних истраживања на пољу управљања процједним водама које по свом саставу и количини, веома варирају, зависно од локације и типа депоније. Стога, пречишћавање процједних вода захтијева доста сложенији и студиознији приступ. Кандидат истиче да према многим истраживачима филтрат сакупљен из депоније ће варирати у погледу запремине и састава зависно од старости депоније, врсте депонованог отпада и биоразградљивости отпада, климатских прилика, као и фаза биоразградње у којој се отпад налази. Надаље, кандидат констатује да су карактеристике филтрата под директним утицајем категорије отпадног материјала одложеног на депонији. Тако, инертни отпад продукује филтрат са ниским оптерећењем, док филтрат настао од ризичног (опасног) отпада тежи да има широк опсег компоненти са високо промјенљивим концентрацијама. Степен декомпозиције отпада такође зависи од услова средине као што су: рН, температура, аеробна и анаеробна средина и врсте присутних микроорганизама. Дат је комплетан преглед састава процједних вода са различитих депонија, који је доступан у досадашњим истраживањима.

У раду се истиче да у току радног вијека депоније постоје изражене 4 основне фазе деградације отпада: *Фаза I* – аеробна фаза; *Фаза II* – анаеробна, неметанска фаза; *Фаза III* – анаеробна нестабилна метанска фаза; *Фаза IV* – анаеробна стабилна метанска фаза.

Такође у овом поглављу кандидат је дао детаљан преглед биланса вода на депонијама комуналног отпада, са описом математичких формула за израчунавање биланса. Констатује се да у свијету постоји више метода за прорачунавање воденог биланса депоније. Све методе као улаз углавном захтијевају пуно статистичких обрађених метеоролошких података, као и податаке о врсти депонованог отпада, старости отпада, броју слојева отпада и сл. Од величине, али и квалитета ових улазних података, зависи у којој мјери се са сигурношћу може доћи и до тачних излазних података воденог биланса једне депоније.

У потпоглављу **Поступци пречишћавања процједних вода** кандидат образлаже различите, до сада препознате, поступке обраде процједних вода које укључују: механичке, хемијске, термичке, физичко-хемијске, електрохемијске и билошке поступке. Наводи њихове предности, недостатке, доступност, механизме и сл. Кандидат истиче да се у пракси најчешће врши комбинација више узастопних поступака (техника) ради постизања ефекта уклањања свих загађујућих супстанци из процједних вода. Кандидат се осврће и на неке *напредне* технологије, које прије свега подразумијевају нанофилтрацију, каталитичку оксидацију и сл., у комбинацији са претходном обрадом, мада ове напредне технике нису још значајније заживјеле у пракси. Посебну пажњу кандидат посвећује мембранским методама пречишћавања, које су у новије вријеме веома заступљене у обради процједних вода, а обухватају: реверзну осмозу; ултрафилтрацију и микрофилтрацију. Из свеобухватне анализе свих доступних поступака, кандидат закључује да постоје многи недостаци у анализираним техникама, који су мањи или већи зависно од врсте поступка. Недостаци су углавном везани за велике инвестиционе и оперативне трошкове, малу ефикасност и еколошку непогодност методе. Алтернативу наведеним поступцима представља мембранска технике на бази реверзне осмозе, чији претпостављени механизам и предности кандидат наводи на основу расположивих литературних података. Мембрански сепарациони поступци дефинишу се као поступци који помоћу мембране дијеле улазни ток на пермеат - ток који пролази кроз мембрану и концентрат (ретентат) који садржи материје које мембране задржава. Мембрански сепарацијски поступци разликују се према покретачкој сили: притиску ( $\Delta p$ ), електричном потенцијалу ( $\Delta E$ ), концентрацији ( $\Delta c$ ) и температури ( $\Delta t$ ). Према већини аутора, које је кандидат анализирао, избор технолошких поступака за третман филтрата мора бити пажљиво одабран скуп технолошких процеса, по могућности лако прилагодљивих промјени квалитета филтрата у односу на старост депоније, тј. на фазе декомпозиције отпада. Кандидат наводи да првенствено, методологија избора процеса обраде филтрата зависи од тога да ли се ради о новој или о већ постојећој депонији, односно да ли имамо конкретне податке о количини и квалитету филтрата, или се ради о процјени будућих количина и квалитета. Кандидат кроз ово потпоглавље даје преглед доступних истраживања (већина из задњих неколико година), а која су искључиво везана за обраду процједних вода, наводећи радне параметре и добијене резултате. Према наведеној литератури, досадашња истраживања су акценат ставила на смањење продукције процједних вода, а тек онда на прикупљање и изналагање најбољег техничко – технолошког рјешења за обраду.

Такође кандидат наводи да се у фазама избора технологије за пречишћавање јавља низ проблема. Прво, варијабилност и оптерећење процједне воде које су у директој вези са врстом и начином депоновања отпада. Друго, промјене квалитета и количина филтрата, те услова који проистичу из оперативних активности на депонији, па се зато може рећи да је свако изабрано постројење специфично за себе. Треће, флукуација квалитета процједне воде која се појављује за свјеж и стари отпад, што представља додатну варијаблу у избору поступака пречишћавања. Тренутно, пракса у развијеним земљама се креће у смјеру минимизације стварања процједних вода – филтрата, путем затварања активне површине депоније, те смањење могућности инфилтрације падавина и површинских вода у тијело депоније. На крају анализе доступних поступака кандидат даје осврт и на једну од иновативних метода третмана процједних депонијских вода путем рецикулације филтрата (или високо концентрованог филтрата) поново на тијело депоније (гдје је и настао) и омогућавање пречишћавања процјеђивањем кроз тијело депоније. Процент заступљености ове методе, као јединог поступка збрињавања, у односу на број санитарних депонија у земљама ЕУ је око 30%.

Кандидат је кроз ову анализу истакао и јасно навео разлоге и циљеве због којих су истраживања спроведена. На основу прегледа релевантне литературе, може се констатовати да су наведена најзначајнија сазнања, као и резултати претходних истраживања анализе састава процједних вода, те најновија достигнућа у поступцима пречишћавања процједних вода.

### 3. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ РАДА

У поглављу **Експериментални дио** (поглавље 3), кандидат даје детаљан опис коришћених материјала и примијењених метода рада. У овом поглављу кандидат даје преглед стандардних метода које су кориштене за узорковање и утврђивање физичко-хемијског састава процједних вода, прорачуна водног биланса депонија, морфолошке анализе отпада, као и статистичке обраде добијених резултата.

На почетку овог поглавља, након изложеног плана истраживања, кандидат даје детаљан опис географског положаја, начина изградње, старости и оперативног рада двије депоније у Републици Српској, које су биле предмет истраживања: *Рамићи* (>30 година) код Бањалуке и *Бријесница* (~ 4 године) код Бијељине.

Кандидат наводи да је на анализираним депонијама вршен вишегодишњи мониторинг процједних вода, тачније: на депонији *Рамићи* у периоду јануар 2006. - децембар 2013. и на депонији *Бријесница* у периоду септембар 2009. - децембар 2013., а са циљем сагледавања утицаја климатских услова, морфолошког састава отпада и старости депоније (фазе деградације отпада) на физичко-хемијски састав филтрата.

Узорковање процједних и површинских вода са наведених депонија комуналног отпада, рађена је у складу са стандардним нормативима за узорковање отпадних вода и то: *BAS ISO 5667-11* – смјернице за узорковање отпадне воде; *BAS ISO 5667-14* – квалитет воде

– узорковање – смјернице за осигурање квалитета узорковања и руковања узорцима природне воде; *BAS ISO 5667-3*: квалитет воде – узимање узорака – смјернице о чувању /конзервацији и руковању узорцима воде.

Карактеризација узорака процједних вода, али и површинских и подземних вода на које процједне воде имају директан утицај, вршена је путем релевантних неспецифичних параметара (БПК<sub>5</sub>, ХПК, рН, укупна сува материја и њене фракције, проводљивост) те низа специфичних параметара (специје азота и фосфора, хлориди, сулфати, тешки метали). Ради се о параметрима квалитета воде који се у готово свим литературним изворима користе као релевантни за утврђивање физичко-хемијског састава филтрата са депонија. Кандидат детаљно наводи попис стандардних метода, као и инструменталне технике, кориштене у овим испитивањима: *BAS ISO* стандарде за физичко-хемијске анализе процједних и површинских вода (*BAS EN 872:2002*, *BAS ISO 6060:2000*, *BAS ISO 5815:1989*, *BAS ISO 7150:2002*, *ISO 6878:2004*, *BAS ISO 9297:2002*, *BAS ISO 6332:2000*, *BAS ISO 8288:2002* и др.). Кандидат наводи да је карактеризација филтрата рађена у корелацији са степеном разградње отпада, као и старости и врсте отпада на ове двије депоније.

Добијени резултати испитивања процједних и површинских вода статистички су обрађени кориштењем SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) софтверског пакета, како би постали релевантна подлога за поједине анализе, те за приједлог технологије пречишћавања депонијског филтрата. Овај софтверски пакет је омогућио обраду и упоређивање сваког од појединачно анализираних параметара у процједним водама, њихов дијаграмски приказ и упоредбу истих. Урађена је стандардна дескриптивна анализа добијених резултата, приказана кроз основне статистичке параметре (меан, медиан, ранге, стандардна девијација и др.). *Mann-Whitney-ev U test* кориштен је за израчунавање значајности разлике у прекорачењу граничних вриједности за двије групације података, а за утврђивање броја (фреквенције) прекорачења код ове двије групације података, кориштен је *Xu-kvadrat (X<sup>2</sup>) test*, уз корекцију према *Yatesu*, као и *Fischerov test*.

Кандидат истиче да је физичко – хемијски састав процједних вода у директној зависности од врсте и карактеристика одложеног отпада, па је неопходно било извршити и испитивање морфолошког састава отпада.

Кандидат даље наводи да се најефектнији прорачун *водног биланса* ради према ЕПА-и за успостављену депонију и прорачунава се најмање два пута годишње, да би се провјерило да ли има повећања у продукцији филтрата. Прорачун се врши преко следеће једначинѐ:

$$Fo = [ Pef (A) + Vt.o. + PV + Pef (L) ] - [a \cdot To.t. ],$$

гдје је:  $Fo$  (m<sup>3</sup>) – количина филтрата;  $Pef$  (m) – ефективне падавине дефинисане као укупне падавине умањене за стварну евапорацију или евапотранспирацију (на активном дијелу санитарне депоније и базену за прикупљање филтрата (уколико исти постоји на



тијелу депоније);  $A$  ( $m^2$ ) – површина санитарне депоније на којој се активно врши одлагање отпада и површине које немају горњу мултибаријерну заштиту те доприносе процјеђивању филтрата;  $V_{l.o.}$  ( $m^3$ ) – запремина течног отпада - уколико се одлаже на депонију (укључује муљ са постројења за третман отпадних вода);  $PV$  ( $m^3$ ) – инфилтрација подземних вода и задржаних количина воде у тијелу депоније (воде са «стране» уколико таквих има на разматраној депонији, рецикулација филтрата);  $L$  ( $m^2$ ) – површина базена за прикупљање филтрата;  $a$  ( $m^3/t$ ) – капацитет апсорпције отпада, варира од типа отпада и густине збијености отпада. За отпад густине  $0,65 t/m^3$ , капацитет апсорпције износи  $0,1 m^3$  воде на тону отпада, прије стварања филтрата, а за повећање компактности одложеног отпада на  $1 t/m^3$ , апсорпциони капацитет отпада на  $0,025 m^3$  по тони отпада (EPA, 2000);  $To.t.(t)$  – количина отпада који се одлаже.

Како је за правилан избор технике пречишћавања, поред састава филтрата, веома важан био и овај прорачун количина насталих процједних вода, кандидат је извршио и софтверски прорачун продукције истих. То је проведено стандардном рачунском методом, примјеном најновијих софтверских пакета у овој области (HELP – хидролошка процјена функционисања депоније). *Модел HELP* је цјеловит програм који се користи за пројектовање, процјену и оптимизацију хидрологије депонија, као и за процјену брзине обнављања подземних вода. Коришћен је и признат као прихваћени стандард за моделирање хидрологије депонија и постао је саставни дио пројеката који укључују функционисање истих, као и дозволе за затварање депонија.

Даље кандидат наводи да су свеукупни резултати истраживања послужили као основа за избор одговарајућег поступка – технике за пречишћавање процједних вода. Кандидат је у оквиру овог поглавља дао табеларни приказ свих коришћених стандарда, метода испитивања и мјерне опреме за физичко-хемијске анализе воде.

У циљу утврђивања стварног састава отпада који се одлаже на ове двије депоније, урађене су и анализе *морфолошког састава* отпада са његовим основним карактеристикама, као и техничка и елементарна анализа појединих компоненти из отпада. Припрема узорака отпада, те анализе морфолошког састава отпада урађене су у складу са *ASTME* стандардима.

С обзиром на презентоване методе истраживања, начин спровођења експеримената и одговарајућа мјерења, а имајући у виду методологију коју су примјењивали други аутори у својим истраживањима, може се констатовати да су примијењене методе адекватне, довољно тачне и савремене.

#### 4. РЕЗУЛТАТИ И НАУЧНИ ДОПРИНОС ИСТРАЖИВАЊА

**Резултати и дискусија** у оквиру ове дисертације (поглавље 4) приказани су кроз осам потпоглавља, односно кроз четири цјелине, које одговарају утврђеном редосљееду плана истраживања и то: Резултати прорачуна количина процједних вода посебно за сваку анализирану депонију (4.1. и 4.2.); Резултати анализе морфолошког састава отпада за обје анализиране депоније (4.3. и 4.4.); Резултати физичко-хемијског састава процједних и површинских вода за обје анализиране депоније, те њихово поређење кроз релевантне параметре (4.5. – 4.7.) и Избор поступака пречишћавања процједних вода (4.8.). Након табеларно и графички представљених резултата, кандидат исте дискутује, поредећи их константно са актуелним литературним сазнањима.

Резултати истраживања количине процједних вода, морфолошког састава отпада и физичко-хемијских анализа процједних вода, приказани су одвојено по потпоглављима, за сваку од анализираних депонија. Посебно потпоглавље (4.7.) даје, кроз детаљну статистичку анализу, поређење састава процједних вода са обје депоније. Такође потпоглавље (4.8) даје заједничку анализу избора поступака пречишћавања процједних вода за анализиране депоније.

У потпоглављима **Прорачун количина процједних вода** (4.1. и 4.2.) кандидат је за анализиране депоније *Рамићи* и *Бријесница*, а према заданим параметрима, користећи софтверски пакет *Visual HELP*, урадио порачун и пројекцију количина филтрата за период од 25 година. Наведени период је у корелацији са периодом праћења физичко-хемијског састава процједних вода на депонијама *Рамићи* и *Бријесница*, од 7 и 5 година, респективно.

Добијени резултати приказани су табеларно и графички, као однос количине филтрата са депоније и падавина, површинског отицања и испаравања. Резултати прорачуна показали су да климатске/сезонске временске варијације, изражене кроз количину падавина, утичу на процједне воде у смислу количине, а вјероватно и састава. С обзиром на свој положај и микроклиматске услове, анализиране депоније примају различите количине падавина (кише и снијега), које варирају на годишњем нивоу. Те падавине директан су узрок настанка процједних вода, које такође варирају у количини (израженије су у зимском и прољећном периоду). Код депоније *Бријесница* евидентан је мањи проценат процједне воде у односу на запримљену количину падавина (3.30 – 12.67% ), за разлику од депоније *Рамићи* (20,83 – 45,54%). Кандидат даље анализира ову разлику у количини филтрата на двије депоније, поредећи то са релевантном литературом. При томе, констатује да количина процједних вода може знатно варирати код различитих депонија, а зависи од сљедећих услова: карактеристика одложеног отпада, примарног садржаја влаге у отпаду; макроклиматских и микроклиматских прилика, локације, локалних хидролошких и хидрогеолошких услова терена, степена уређења депоније, те технологије збрињавања и манипулације отпадом.

У потпоглављима **Анализа морфолошког састава комуналног отпада** (4.3. и 4.4.), кандидат је појединачно за сваку депонију приказао резултате табеларно и графички. Генерално, на основу резултата морфолошке анализе отпада на обје анализираних депоније, кандидат констатује да се на анализираним депонијама одлажу велике количине биоразградљивог отпада (преко 50%), те велике количине амбалажног отпада различитих врста (преко 35%). Резултати такође показују да се врло мало или готово никако не врши примарна селекција (раздвајање) отпада на мјесту настанка, већ се сав отпад, као мијешани, довози и одлаже на депонију. Такође кандидат истиче да, с обзиром да у Републици Српској нити у БиХ не постоји успостављена јасна хијерархија у систему управљања отпадом, неповратно се губи свеукупна вриједност отпадних материја, а исте значајно оптерећују депоније и настале процједне воде.

Кроз потпоглавље **Анализа физичко-хемијског састава процједних и површинских вода на депонијама Рамићи и Бријесница** (4.5. и 4.6), кандидат је дао одвојено за сваку депонију табеларни приказ статистички обрађених резултата за сваки од анализираних параметра у процједним и површинским водама, а то су: температура, рН-вриједност; електропроводљивост, укупна сува материја и њене фракције (суспендоване материје, жарени остатак и губитак жарењем), БПК<sub>5</sub>, ХПК, нутријенти (азот по Кјелхдал-у, амонијачни азот (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), нитратни (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) нитритни (N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) и укупни фосфор), тешки метали (гвожђе, манган, цинк, олово, кадмијум) хлориди и сулфати. Кроз дискусију резултата кандидат је дао детаљну анализу наведених показатеља квалитета воде, посматрано кроз основне дескриптивне статистичке параметре.

Кандидат констатује да се током читавог периода праћења и анализе састава процједних вода, појављују повишене концентрације за готово све параметре (осим за температуру и рН вриједност) и да прелазе граничне вриједности прописане *Правилником о условима испуштања отпадних вода у површинске воде*. Даље кандидат наводи да су вриједности већине анализираних параметра у процједним водама депоније *Рамићи* показале значајне сезонске варијације. Многи аутори повезују варијације испитиваних параметара у процједним водама са сезонским промјенама климе, и динамиком физичко – хемијских и биолошких процеса који се дешавају на депонији, а на које значајан утицај имају сезонске варијације температуре и кише. Поједини параметри (хлориди, укупан фосфор) периодично прелазе дозвољене вриједности, док су ХПК, БПК<sub>5</sub> и амонијум јон током свих мјерења значајно били изнад прописаних граничних вриједности. У овим процједним водама присутан је и повишен садржај тешких метала, посебно цинка, али и никла, чије су концентрације периодично изнад прописаних граничних вриједности. Повишене концентрације метала (мангана и жељеза) у процједним водама са депоније *Бријесница* показују да у овој депонији повремено превладава ацетогена фаза (рН < 7) и да постоје одговарајући услови за излуживање тешких метала.

Упоредно са са анализом резултата за процједне воде са депонија *Рамићи* и *Бријесница*, кандидат анализира и њихов утицај на реципијенте (поток Глоговац и Мајевички канал, респективно), пратећи то кроз статистичку анализу релевантних параметара квалитета за површинске воде. Кандидат наводи да постоји директна корелација између органског

оптерећења процједних вода са депоније *Рапићи* и воде потока Глоговац исказаног преко ХПК вриједности. На основу тога се може закључити да потенцијал самопречишћавања ове површинске воде није довољан да се избори са унесеном количином органских полутаната, што значајно снижава класу квалитета самог површинског тока. С обзиром да се ради о лепези токсичних органских једињења који се налазе у процједним водама, многа од њих инхибирају процесе биоразградње органске материје у површинским водама (природно присутних и антропогено унијетих), па је стога и БПК<sub>5</sub> мањи од очекиваног, јер је активност микроорганизама готова заустављена. Даље кандидат наводи да се директним испуштањем ових процједних вода, чији су ХПК вриједност и садржај амонијака високи, у пријемнику може узроковати знатно смањење раствореног кисеоника, а у екстремним ситуацијама може и сасвим нестати, тако да у неким случајевима долази до потпуног изумирања акватичног живота. Ово је посебно изражено када су ти пријемници са малим протицајима, ако и у вријеме сушних периода, када се додатно смањује протицај воде.

Такође кандидат наводи да се на основу урађених упоредних анализа и добијених графикона, може јасно видјети директни утицај састава процједних вода са депоније *Бријесница* (исказаног кроз релевантне параметре квалитета) на квалитет воде Мајевичког канала. То је посебно изражено из разлога, што Мајевички канал не представља природни водени систем који треба да има своје механизме самопречишћавања, којима се бори против антропогеног уноса полутаната.

Кандидат је као посебну цјелину у раду (поглавље 4.7) обрадио *поређење физичко-хемијског састава* процједних вода за двије анализиране депоније, кроз статистички обрађене релевантне параметре. За ово поређење кандидат је изабрао 8 релевантних параметара, који представљају најчешће одређиване параметре у овом супстрату, те могу дати довољно информација за избор одговарајућих техника пречишћавања. Кандидат је дао табеларни приказ поменутих показатеља квалитета, представљених кроз основне дескриптивне статистичке параметре за све године испитивања. Графички приказ упоредних статистички обрађених резултата за обје депоније, представљен је у виду Box&Whiskers-ових дијаграма.

Примјенјујући тестове значајности на двије групације података (за параметре квалитета воде са депоније *Рапићи* и депоније *Бријесница*) кандидат је утврдио сљедеће:

Примјеном *Mann-Whitney-og U testa* откривена је високо статистички значајна разлика у измјереним вриједностима које су изнад прописаних граничних вриједности код 3 параметра (суспендоване материје, амонијачни азот и укупни фосфор), на депонији *Рапићи* у односу на депонију *Бријесница*. Примјеном  $\chi^2$  *testa*, уз корекцију према *Yatesu*, добијена је високо статистички значајна разлика у броју прекорачења суспендованих материја и амонијачног азота изнад граничне вриједности, мјерених на депонији *Рапићи* и депонији *Бријесница*, а примјеном *Fisherovog testa* откривена је високо статистички значајна разлика у броју прекорачења и за укупни фосфор, мјереног на двије анализиране депоније.

За параметре рН, БПК и ХПК није забиљежена статистички значајна разлика у измјереним вриједностима у односу на граничне, на депонији *Рамићи* према депонији *Бријесница*. За параметре електропроводљивост и азот по Kjeldahl-у не постоји гранична вриједност прописана *Правилником*, па се нису могли ни упоређивати.

Однос БПК<sub>5</sub>/ХПК обично се користи као мјера за описивање органског састава процједних вода и чини се да даје доста репрезентативан приказ стабилизације отпада у транзиту, почев од фазе ране ацидогенезе до зреле фазе метаногенезе на депонији. У прилог томе иде и добијени резултати односа БПК<sub>5</sub>/ХПК за депонију *Рамићи*, који приказан кроз аритметичку средину износи **0,227**, а што је сврстава у старије депоније (>30 година). Код депоније *Бријесница*, пошто се ради о млађој депонији (~4 године) у којој ацетогена фаза још доминира, усредњени однос БПК<sub>5</sub>/ХПК износи **0,270**.

Из анализираних података кандидат констатује да депонија *Рамићи* показује мање варијације унутар анализираних параметара, односно примјетан је хомогенији скуп података готово за све параметре, што јесте карактеристика старије и стабилније депоније. Ипак варијације у хемијском саставу процједних вода код обје посматране депоније су евидентне, а понекад и тешко објашњиве. Надаље, аутор поређењем са релевантном литературом, констатује да многи аутори повезују варијацију у резултатима испитиваних параметара у процједним водама са сезонским промјенама климе. Ове варијације углавном зависе од динамике физичко – хемијских и биолошких процеса који се дешавају на депонији, а на њих значајан утицај имају сезонске варијације температуре и падавина. У конкретном случају потребно је истаћи да у БиХ не постоји успостављена јасна хијерархија у систему управљања отпадом (*reduce-reuse-recycle-recover*), тако да се на депоније одлаже врло хетерогена маса, са компонентама различите биоразградљивости, растворљивости и различитог утицаја на рН вриједност. Такође кандидат истиче да постоји много фактора који утичу на квалитет процједне воде, тј. сезонске временске промјене, те врста и састав отпада (у зависности од стандарда живота околне популације). Ако се овоме дода да су чести акциденти и стихијско наношење отпада, јасно је да ће се то доста одразити на квалитет процједних вода. Из тога слиједи да године старости анализираних депонија не могу бити основни критеријум код анализе утврђеног физичко – хемијског састава ових процједних вода.

Кандидат даље истиче да су резултати испитивања физичко – хемијског састава филтрата показали су да се у оба случаја (за обје депоније) ради о отпадним водама високо оптерећеним органским примјесима и нутријентима, присутним у суспендованој, колоидној и раствореној форми. Јонски облик загађења, исказан кроз високу електропроводљивост, је прије свега посљедица присутности аниона хлорида и сулфата, али и катјона метала, међу којима токсични тешки метали заузимају значајан удио (посебно код млађе депоније *Бријесница*). При томе кандидат наглашава да филтрат са депоније *Бријесница* у односу на депонију *Рамиће*, карактерише већи садржај биоразградљивог органског загађења, више концентрације амонијачног азота и тешких метала, што јесте карактеристика младе депоније. Такође, варијације у вриједностима за поједине параметре квалитета процједне воде, мање су присутне у филтрату са депоније

*Рамићи*, што значи да се на овој депонији процеси разградње, с обзиром на њену старост, стабилизују и смирују. Кандидат ипак наглашава, да су резултати анализа показали да се процједне воде са депоније *Рамићи* не могу посматрати искључиво као воде са старе депоније (метаногена фаза разградње), јер се на овој депонији врши континуирано и у великим количинама депоновање новог отпада (због отварања нових ћелија за наношење отпада), а процједне воде се са свих дијелова депоније заједнички своде у исти сабирни базен. Као резултат оваквог приступа депоновању, процједне воде са ове депоније карактеришу вриједности, које су типичне и за старе и за нове депоније. С обзиром на наведено, кандидат наводи да се будуће постројење за пречишћавање процједних вода које настају на депонији *Рамићи* мора да задовољи врло строге услове за квалитет излазног ефлуента и да осигура ефикасно уклањање органских, минералних (јонских) и других форми, који се појављују у овим процједним водама. Тим прије, што је реципијент ових вода, *поток Глоговац*, врло ограниченог прихватног капацитета.

Даље кандидат истиче да је слична ситуација је и са процједним водама депоније *Бријесница*. Процједне воде са ове депоније се генерално могу сврстати у воде које имају карактеристике млађих депонија (ацетогена фаза разградње), иако повремено добијене релативно ниске вриједности за ХПК и БПК<sub>5</sub> указују на прелаз из ацетогене у метаногену фазу разградње отпада. Зато, будуће постројење за пречишћавање процједних вода са ове депоније, мора задовољити строге услове пречишћавања и свођење већине полутаната у дозвољене границе, како би испуштање у реципијент *Мајевички канал* било безбједно.

Кроз потпоглавље **Избор поступка за пречишћавање процједних вода на депонијама комуналног отпада** (потпоглавље 4.8.), кандидат констатује да у случају обје депоније од будућег постројења се захтијева велика флексибилност у раду, те способност уклањања свеукупног загађења, без обзира на присутну форму и поријекло примјеса у овим водама. Кандидат даље наводи да се софтверским прорачуном, као и рачунском анализом, дошло се до закључака да се на обје депоније појаљују релативно велике количине процједних вода (за депонију *Рамићи*, то је просјечна количина од 172 м<sup>3</sup>/дан, а за депонију *Бријесница* 38 м<sup>3</sup>/дан), те изразита сезонска неравномјерност током године (узрокована неравномјерним количинама падавина). С обзиром на наведено, кандидат констатује да изабрано постројење за пречишћавање процједних вода у оба случаја мора да има могућност изразитог дисконтинуираног процеса рада, као и модуларни приступ раду, што захтијева *велика неравномјерност у саставу и количини процједне воде* коју треба пречистити. Дакле, постројење мора имати могућност да у вријеме смањене количине процједне воде (сушни љетни период) ради са смањеним капацитетом или да повремено буде ван функције, док у вријеме великих падавина треба имати могућност сталног (континуираног) рада. Друга битна чињеница, коју кандидат истиче јесте да су за процједне воде са депоније *Рамићи*, као и депоније *Бријесница* крајњи реципијент површинске воде, тако да постројење за пречишћавање мора прије свега испунити строге захтјеве у погледу законом прописаних граничних вриједности, за све дате параметре (*Правилник о условима испуштања у површинске токове*). Такође, као један од битних критеријума за избор постројења кандидат наводи и *инвестициону вриједност постројења*, као и *трошкове одржавања*. С обзиром на релативно ниске цијене

депоновања отпада на обје анализиране депоније, било је потребно изабрати постројење које инвестицијски неће бити захтјевно, нити да трошкови одржавања буду високи. Један од анализираних услова за избор постројења је био и *начин управљања и одржавања постројења*. Такође, прије избора постројења за пречишћавање процједних вода са ове двије анализиране депоније кандидат наводи да је урађена и *анализа искустава на депонијама у окружењу и ЕУ*. Анализа је подразумјевала досадашња искуства у набавци и раду постројења, са становишта испуњености захтијеваних услова, као и цијене инвестиције и цијене одржавања постројења.

Такође, као један од критеријума који је кандидат усвојио при избору постројења била је и анализа до сада *објављених научних и стручних радова* на ову тему. Кроз литературни преглед кандидат наводи да су анализирана и упоређена сва нова истраживања и резултати до којих су дошли многи истраживачи по питању избора најбољих технологија за пречишћавање процједних вода. Даље се истиче да избор поступака обраде процједних вода зависи од улазног квалитета и количине процједних вода, граничних услова за испуштање, односно захтијеваног квалитета излазног ефлуента, количине остатака од пречишћавања (концентрата) и начина њиховог управљања, локације, те ограничења буџета. Даље кандидат истиче да је управљање процједним водама сложен задатак с обзиром на врло варијабилну природу одложеног отпада, врсту и технологију депоновања, старост, климатску и сезонску варијацију у различитим регијама. Дакле, тешко је препоручити могућности обраде само на основу старости процједних вода, јер је потребно размотрити сваки сценарио као јединствен случај. Системи обраде су у посљедњих неколико година софистицирани, поуздани и у стању су да обезбиједу досљедан третман процједних вода у складу са посебним стандардима за испуштање вода. Кандидат је кроз ово потпоглавље дао детаљну анализу свих до сада доступних поступака за пречишћавање процједних вода, истако све њихове предности и недостатке, те након свеобухватене анализе дао приједлог да се усвоји комбиновани концепт - дјелимичне рецикулације процједне воде, а дио који се мора испуштати изван депоније, би се уз претходну обраду у лагуни депоније, обрађивао поступком реверзне осмозе.

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 утицаја структуре и фазе деградације отпада на састав процједних вода, али и других утицајних фактора депоновања, те дао адекватан приједлог техника за њихово пречишћавање.

На основу свих резултата добијених у овом раду, кандидат је представио одговарајуће **закључке** (поглавље 5), у којима је сажео сва сазнања проистекла из проведених истраживања. Састав процједних вода је врло промјењив и различит, те их је врло тешко окарактеризирати. Резултати ових али и многих других истраживања, на више различитих депонија, показали су високу хоризонталну и вертикалну варијабилност у квалитету процједних вода. То указује да старосна доб, запремина и својства отпада, локални услови унутар тијела депоније, степен разградње отпада, климатски и

метеоролошки услови, а и количина воде која се инфилтрира, имају значајан утицај на квалитет и количину процједне воде, те да је усвојени концепт за пречишћавање процједних вода еколошки прихватљив, технички изводљив, а и економски исплатив. Спознаје до којих се дошло на основу резултата овог истраживања представљају значајан научни допринос.

Сагледавши све резултате истраживања може се констатовати да је кандидат дуготрајним мониторингом квалитета процједних и површинских вода, дошао до поузданих података које је обрадио научним методама, те на основу њих дао приједлог технологије пречишћавања, чиме је кроз своје истраживање, у потпуности успио потврдити задане хипотезе.

Из области ове докторске дисертације кандидат је у часописима и на научним скуповима међународног значаја презентовао 4 научна рада. Такође, 1 рад се налази у поступку рецензије у научном часопису *Environment Protection Engineering*, индексираном на Thomson Reuters: Science Citation Index Expanded (SCIE), Journal Citation Reports (JCR), (IF – 0,439)



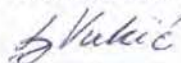
## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРИЈЕДЛОГ

Докторска дисертација кандидата мр Небојше Кнежевића, под називом „Утицај структуре и фазе деградације комуналног отпада на састав процједних вода са депонија и избор поступака пречишћавања“ урађена је у складу са пријављеним и прихваћеним образложењем теме, а проведена истраживања су потврдила задане хипотезе. Научна вриједност и оригиналност ове дисертације заснива се на чињеници да су, кроз дуготрајни мониторинг квалитета процједних вода са двије по много чему специфичне депоније, примјеном научних метода, јасно истражени и утврђени утицаји структуре и фазе деградације отпада на састав процједних вода. Такође, утврђено је да животни вијек анализираних депонија не може бити основни критеријум, већ постоје и други утицајни фактори (локални климатски услови, начин депоновања, степен изграђености депоније и др). Наведена истраживања послужила су као основа за избор одговарајућих поступака пречишћавања анализираних процједних вода. Имајући у виду све локалне услове и савремену свјетску праксу у области прикупљања, пречишћавања и коначног одлагања процједних вода, за анализиране депоније је одабран приједлог комбинованог система пречишћавања, који обухвата сљедеће фазе система: дјелимичну рецикулацију депонијског филтрата на депонију; предобраду процједних вода у лагуни; обраду мембранским технологијама (постројење за реверзну осмозу) и на крају испуштање у природни реципијент пречишћеног филтрата. Научни резултати ових истраживања су у потпуности апликативни и већ потврђени у пракси, примјеном предложеног система на депонији *Бријесница*.

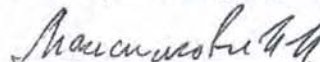
На основу сагледавања свеукупног опуса истраживања у овој дисертацији, која представља оригиналан научни рад, Комисија позитивно оцјењује докторску дисертацију под називом „Утицај структуре и фазе деградације комуналног отпада на састав процједних вода са депонија и избор поступака пречишћавања“ и предлаже Наставно-научном вијећу Технолошког факултета у Бањој Луци и Сенату Универзитета да прихвати **позитивну оцјену** докторске дисертације кандидата мр Небојша Кнежевића и одобри јавну одбрану.

У Бањој Луци, 20.03.2015. године

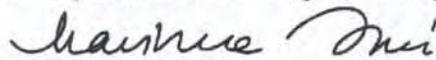
### ПОТПИС ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ



Др Љиљана Вукић, ванредни професор



Др Милорад Максимовић, редовни професор



Др Марина Илић, редовни професор



Др Горан Вујић, ванредни професор