УНИВЕРЗИТЕТ МЕТРОПОЛИТАН

ФАКУЛТЕТ ЗА ПРИМЕЊЕНУ ЕКОЛОГИЈУ „ФУТУРА“

Марија Јанковић

ОПТИМИЗАЦИЈА МОДЕЛА ТРЕТМАНА ОТПАДНИХ ВОДА ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАНОГ СИСТЕМА ПРИМЕНОМ ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКЕ АНАЛИЗЕ ЗА РУРАЛНА НАСЕЉА СРБИЈЕ

Докторска дисертација

Београд, 2025. година

METROPOLITAN UNIVERSITY

FACULTY OF APPLIED ECOLOGY "FUTURA"

Marija Janković

OPTIMIZATION OF WASTEWATER TREATMENT MODELS IN DECENTRALIZED SYSTEMS USING MULTI-CRITERIA ANALYSIS FOR RURAL SETTLEMENTS IN SERBIA

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2025

МЕНТОР

др Мирјана Бартула, ванредни професор, Универзитет Метрополитан, Факултет за примењену екологију "Футура"

_____

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

др Слободан Стефановић, доцент**,** Универзитет Метрополитан, Факултет за примењену екологију "Футура"

_____

Др Сабахудин Хадровић, виши научни сарадник, Институт за шумарство, Београд

_____

Захвалница

Оптимизација модела третмана отпадних вода децентрализованог система применом вишекритеријумске анализе за рурална насеља Србије

Сажетак

Ова докторска дисертација бави се идентификацијом и анализом оптималних и одрживих решења за децентрализовани третман отпадних вода у руралним и мање насељеним подручјима. Циљ истраживања је развој модела који ће истовремено бити еколошки прихватљиви, економски оправдани и социјално одрживи, у складу са принципима одрживог развоја. Посебан акценат стављен је на примену природних биљних система – фиторемедијационих постројења – који користе природне процесе за филтрацију и уклањање загађујућих материја из отпадних вода.

Истраживање обухвата вишекритеријумску анализу која је примењена за избор оптималних технолошких решења у складу са локалним условима и ресурсима. Кроз анкету спроведену у руралним заједницама, анализирана је и спремност становништва да учествује у доношењу одлука и примени иновативних решења. Студија случаја у Специјалном резервату природе Засавица коришћена је за практичну проверу примењивости предложеног модела.

Постављене хипотезе указују на то да је неконтролисан третман отпадних вода директно повезан са деградацијом квалитета животне средине и људског здравља, да су природна решења економски оправдана и енергетски ефикасна, као и да је активно учешће локалних заједница кључно за успех оваквих система.

Научни допринос рада огледа се у развоју модела за оптимизацију система третмана отпадних вода који обједињује техничке, еколошке, економске и друштвене аспекте. Резултати истраживања могу допринети бољој регулацији и планирању у сектору водопривреде, подстичући примену децентрализованих приступа као одрживих решења за руралне области.

Кључне речи: децентрализовани третман отпадних вода, фиторемедијација, вишекритеријумска анализа, PROMETHEE

OPTIMIZATION OF WASTEWATER TREATMENT MODELS IN DECENTRALIZED SYSTEMS USING MULTI-CRITERIA ANALYSIS FOR RURAL SETTLEMENTS IN SERBIA

Abstract

This doctoral dissertation addresses the identification and analysis of optimal and sustainable solutions for decentralized wastewater treatment in rural and sparsely populated areas. The aim of the research is to develop models that are environmentally friendly, economically viable, and socially sustainable, in accordance with the principles of sustainable development. Special emphasis is placed on the application of natural plant-based systems—phytoremediation treatment facilities—that utilize natural processes to filter and remove pollutants from wastewater.

The research includes a multi-criteria analysis applied to select optimal technological solutions in line with local conditions and resources. Through a survey conducted in rural communities, the study also examines the willingness of the population to participate in decision-making and the implementation of innovative solutions. A case study in the Special Nature Reserve Zasavica was used to practically test the applicability of the proposed model.

The formulated hypotheses suggest that uncontrolled wastewater treatment is directly linked to the degradation of environmental quality and human health, that nature-based solutions are economically justified and energy-efficient, and that active participation of local communities is crucial for the success of such systems.

The scientific contribution of the dissertation lies in the development of a model for optimizing wastewater treatment systems that integrates technical, environmental, economic, and social aspects. The research findings can contribute to better regulation and planning in the water management sector, promoting the adoption of decentralized approaches as sustainable solutions for rural areas.

Key words: decentralized wastewater treatment, multi-criteria analysis, PROMOTHEE

САДРЖАЈ

Поглавље 1: УВОД 3

1.1 Предмет истраживања рада 7

1.2 Циљеви истраживања 8

1.3 Хипотезе истраживања 9

1.4 Методе истраживања 10

Поглавље 2: ЗНАЧАЈ ТРЕТМАНА ОТПАДНИХ ВОДА СА АСПЕКТА ОЧУВАЊА ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ И ВОДНИХ РЕСУРСА 13

2.1. Анализа стања третмана отпадних вода у Србији 13

2.2.Анализа утицаја отпадних вода на квалитет вода 21

2.3. Анализа утицаја отпадних вода на здравље грађана 24

2.4. Анализа стања вода - студија случаја града Краљева 26

2.5. Закључна разматрања 45

Поглавље 3: ДОСТУПНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ ЗА ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАН ТРЕТМАН ОТПАДНИХ ВОДА **47**

3.1. Почеци и развој каналисања насеља 47

3.2. Доступне технологије 50

3.2.1. SBR технологија 52

3.2.2. MBR технологија 54

3.2.3. MBBR технологија 55

3.2.4. *Природни биљни ситеми – фиторемедијација* 57

3.3. Упоредна анализа постојећих технологија 65

3.4. Закључна разматрања 66

Поглавље 4: ДЕФИНИСАЊЕ МЕТОДОЛОГИЈЕ ОДАБИРА ТРЕТМАНА ОТПАДНИХ ВОДА ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАНОГ СИСТЕМА **69**

4.1. Анализа анкете о спремности мештана са територије града Краљева за примену иновативних решења у области третмана отпадних вода 69

4.2. Критеријуми за одабир технологије третмана отпадних вода 78

4.3. Анализа вишеструких критеријума – MCA (*Multi-criteria analysis*) 81

4.4. Дефинисање критеријума и њихово пондерисање 87

4.5. Позиционирање одабране технологије третмана отпадних вода 94

Поглавље 5: СТУДИЈА СЛУЧАЈА **100**

5.1. Специјални резерват природе Засавица 100
5.2. Анализа постојећег стања водоснабдевања и третмана употребљених вода 101
5.3.Пројектно решење са индикаторима ефикасности система 103
5.4. Мониторинг и управљање системом 109
Поглавље 6: ЗАКЉУЧАК 113
ПРИЛОГ 7: 119
7.1. Законска регулатива у области третмана отпадних вода у ЕУ и РС 119
7.2. Анкета „Значај и доступне технологије прикупљања и третмана употребљених вода“ 125
7.3. Фотодокументација 127
ЛИТЕРАТУРА 129

Поглавље 1: УВОД

У контексту текуће глобалне урбанизације, рурално становништво остаје веома значајно, са око 3,4 милијарде појединаца у 2022. години, што чини отприлике 43% садашње глобалне популације[1][2]. Унутар Европске уније (ЕУ), скоро 30% укупног становништва у бившим земљама Централне и Источне Европе, који износи 42 милиона људи, живи у насељима са мање од 2.000 становника[3].

На основу статистике Светске банке, 47% светске популације имало је приступ санитарним услугама којима се управља безбедно[4] [5]. Поред тога, Грабински и Борја-Вега[6] открили су да 70% појединаца без основних санитарних услуга широм света живи у руралним регионима. Ова огромна неједнакост открива значајан недостатак у доступности одговарајућег третмана отпадних вода у руралним областима широм света, што указује на значајно одступање од пута који је потребан за постизање циља одрживог развоја УН-а за обезбеђивање безбедног третмана отпадних вода[7].

Међутим, кључно је истаћи да се доступност санитарних услуга у Републици Србији значајно разликује од светског просека. У руралним областима Србије, општинска инфраструктура је скоро одсутна, углавном због продуженог транзиционог периода и стагнације. Ово представља озбиљну еколошку забринутост, посебно имајући у виду да, према резултатима пописа из 2022. године, око 38% становништва живи у неурбаним подручјима[8]. Штавише, они су углавном препуштени да се самостално носе са изазовима пречишћавања отпадних вода. С обзиром на изазове све веће депопулације и ограничених економских ресурса, изградња и управљање великим комуналним системима за сакупљање и третман отпадних вода постају све

---

[1] *UN DESA, The World Urbanization Prospects United Nations Population Division's World Urbanization Prospects: 2022 Revision, 2018. On line at: https://www.un.org/uk/desa/68-world-population-projected-live-urban-areas-2050-says-un,*

[2] *Macrotrends, World Rural Population 1960-2024, 2024. On line at: https://www.macrotrends.net/countries/WLD/world/rural-population*

[3] *Capodaglio A.G., Integrated Decentralized Wastewater Management for Resource Recovery in Rural and Peri-Urban Areas, Resources, 6(2), 22, 2017.*

[4] *UNICEF, United Nations Children's Fund, Snapshot of global and regional urban water, sanitation and hygiene inequalities, UNICEF, New York, 2020. On line at: www.unicef.org/media/91561/file/Snapshot-of-global-and-regional-urban-water-sanitation-and-hygiene-inequalities.pdf,*

[5] *WHO/UNICEF, Progress on Household Drinking Water, Sanitation and Hygiene 2000-2020: Five years into the SDGs, Geneva: World Health Organization (WHO) and the United Nations Children's Fund (UNICEF), 2021, Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO, 2021. On line at: www.unwater.org/sites/default/files/app/uploads/2021/07/jmp-2021-wash-households-LAUNCH-VERSION.pdf,*

[6] *Grabinsky J., Borja-Vega C., World Statistics Day: Five Key Statistics on Global Access to Water, Sanitation and Hygiene, 2020. On line at: https://blogs.worldbank.org/water/world-statistics-day-five-key-statistics-global-access-water-sanitation-and-hygiene*

[7] *UN Water, Summary Progress Update 2021 – SDG 6 – Water and Sanitation for all, Version: July 2021, Geneva, Switzerland,2021. On line at: https://www.unwater.org/publications/summary-progress-update-2021-sdg-6-water-and-sanitation-all*

[8] *Гавриловић Д., Статистички годишњак Републике Србије, Републички завод за статистику Републике Србије, Београд, 2023.*

неизводљиви у руралним подручјима. Одрживо решење овог проблема лежи у децентрализованим системима за пречишћавање отпадних вода.

У процесу решавања проблема отпадних вода у насељима, разликујемо два основна модела: централни и децентрализовани приступ решавања проблема. Досадашња пракса је да се за велике, урбане центре бира изградња централних конвенционалних система одвођења и третмана употребљених вода, који подразумевају изградњу сложене колекторске мреже са великим бројем различитих објеката на њој, која сакупља отпадну воду са веће урбане површине и одводе је до једног централног градског пречистача, великих капацитета, од неколико десетина до неколико стотина хиљада еквивалнет становинка (ЕС). Ова постројења захтевају велика финансијска улагања како током изградње, тако и током периода њиховог рада за потребе одржавања. Представљају велике потрошаче енергије, што на крају резултира великом ценом услуге коју крајњи корисници морају да плате како би се сачувала одрживост система. Управо финансијски аспект је један од кључних разлога споре израдње и напретка на овом пољу[9]. (Бранс и Де Смет, 2016)

Агенција за заштиту животне средине Сједињених Држава (ЕПА) је званично признала децентрализоване системе за пречишћавање отпадних вода као одрживо решење за руралне заједнице[10]. Овај приступ је стратешки дизајниран да ефикасно постигне циљеве јавног здравља и квалитета воде. Значајно је да децентрализовани системи имају неколико предности у односу на централизоване системе, са посебним фокусом на флексибилност, одрживост и економичност, као што је истакнуто у бројним научним изворима[11] [12] [13] [14] [15].

За разлику од ових система, концепт прикупљања отпадних вода, њихов третман на месту настанка (или што ближе месту настанка) називамо децентрализован систем третмана отпадних вода. Овакав систем потпуно оправдано треба усвојити за третман употребљених вода, мањих изолованих насеља, кластер

---

[9] Brans JP., De Smet Y., PROMETHEE Methods, In: Greco S., Ehrgott M., Figueira J. (Eds.), Multiple Criteria Decision Analysis. International Series in Operations Research & Management Science, vol 233, Springer, New York, 2016. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3094-4_6

[10] *Hudson J., Hogye S., Frederick R., Goo R., Kelly S., US EPA Program Strategy for Decentralized Wastewater Systems, Proceedings of the Water Environment Federation, 2005(10):5795-5801, DOI: 10.2175/193864705783856947, 2005.*

[11] *Maurer M., Rothenberger D., Larsen T.A., Decentralised Wastewater Treatment Technologies from a National Perspective: At what cost are they competitive?, Water Science & Technology, 5, 145–154*

[12] *Capodaglio A. G., Callegari A., Cecconet D., Molognoni D., (2017), Sustainability of Decentralized Wastewater Treatment Technologies, Water Practice and Technology, 12 (2): 463–477, 2005.*

[13] *Wang S., Values of Decentralized Systems that Avoid Investments in Idle Capacity Within the Wastewater Sector: A theoretical justification, Journal of Environmental Management, 136, 68–75, 2014.*

[14] *Philip L., Ramprasad C., Krithika D., Sustainable Wastewater Management Through Decentralized Systems: Case Studies, In: Pannirselvam M., Shu L., Griffin G., Philip L., Natarajan A., Hussain S. (Eds.), Water Scarcity and Ways to Reduce the Impact, Applied Environmental Science and Engineering for a Sustainable Future, Springer, 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75199-3_2,*

[15] *Adhikari S., Halden R.U., Opportunities and Limits of Wastewater-based Epidemiology for Tracking Global Health and Attainment of UN Sustainable Development Goals, Environment International, Volume 163, 2022. https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107217,*

насеља, туристичких комплекса или индивидуалних објеката, укупног броја еквивалнет становника који не прелази 1000. Велики број досадашњих истаживања су доказала и аргументовала децентрализоване системе у руралним подручјима као једино логично одрживо решење.

Децентрализовани системи третмана отпадних вода представљају важан алат у побољшању ефикасности управљања отпадним водама, посебно у руралним и мањим урбаним подручјима. Ови системи нуде значајне предности које могу допринети одрживом развоју, али такође имају и неке изазове који могу ограничити њихову примену и широку имплементацију.

Предности децентрализованих система:

- **Мали негативан утицај на животну средину у случају испада система:** Због релативно малих количина отпадних вода које обрађују ови системи, могући изливи или отказа у функционисању имају знатно мањи утицај на животну средину у поређењу са централним системима. Овакав приступ смањује ризик од ширења контаминације у већим размерама и омогућава брже и ефикасније реаговање у случају проблема, што значајно утиче на смањење потенцијалног негативног утицаја на околну природну средину.
- **Локацијска близина насеља:** Децентрализовани системи су дизајнирани тако да буду постављени у непосредној близини места настанка отпадних вода, чиме се значајно скраћује потреба за дугим и скупим колекторским мрежама. Ово не само да смањује трошкове изградње, већ и минимизира потребу за енергетски захтевним објектима као што су пумпне станице, које су уобичајене у централним системима.
- **Мала финансијска улагања:** Изградња и одржавање децентрализованих система захтева значајно мања почетна и оперативна финансијска улагања у поређењу са централизованим системима. Ови системи су обично мање енергетски захтевни, што доводи до смањених оперативних трошкова и веће енергетске ефикасности. Поред тога, лакше је осигурати дугорочну одрживост ових система због мањих трошкова и потребе за мањим степеном инфраструктурних интервенција.
- **Поновна употреба пречишћене воде:** Једна од значајних предности децентрализованих система је могућност поновне употребе пречишћене воде, која се може користити за различите сврхе, као што је наводњавање пољопривредних површина. Ово не само да смањује потребу за водним ресурсима, већ и доприноси одрживости пољопривредних активности и побољшању локалне производње.
- **Активно учешће локалне заједнице:** Локално становништво има важну улогу у праћењу и одржавању рада система. Овај приступ не само да подстиче осећај одговорности у заједници, већ и утиче на побољшање свести о важности заштите животне средине и рационалног коришћења ресурса, што може довести до дугорочних бенефита за саму заједницу.

Недостаци децентрализованих система:

- **Недовољно развијена законска и нормативна регулатива:** Један од највећих изазова који стоје пред децентрализованим системима је недостатак развијене легислативе и стандарда који регулишу њихову примјену. Легислативни оквир је често неадекватан, што може отежати имплементацију ових система и створити правну неизвесност за инвеститоре и кориснике.
- **Недостатак стандардизације технологија:** Ови системи се често прилагођавају специфичним условима сваког насеља, укључујући климатске и географске услове, као и разлике у квалитету воде која се користи. Стога, постоји велики број различитих технологија, што отежава стандардизацију и унификацију решења. То може довести до проблема у интеграцији и обезбеђивању униформних услова за рад система.
- **Преузимање одговорности од стране локалне заједнице:** Локална заједница је одговорна за управљање и одржавање ових система, што захтева одређене капацитете и ресурсе који могу бити ограничени у руралним подручјима. Ова одговорност може бити изазов за заједнице које немају довољно искуства или ресурса за ефективно управљање системима.
- **Недостатак инжењерског искуства:** Често се јавља недостатак стручног инжењерског знања и искуства за имплементацију и одржавање децентрализованих система у мањим и руралним заједницама. Ово може довести до техничких проблема, а самим тим и слабе функционалности система.
- **Проблем избора локације:** Још један значајан изазов је избор погодне локације за постављање ових система. Локално становништво често не жели да се ови објекти налазе у непосредној близини њихових објеката, што може довести до отпора и компликација у процесу планирања и изградње система.

Упркос овим изазовима, децентрализовани системи третмана отпадних вода представљају обећавајућу опцију за управљање отпадним водама, посебно у мањим насељима и руралним подручјима, ако се правилно дизајнирају, имплементирају и одржавају. Децентрализовани системи за третман нуде и значајну предност поновне употребе обновљене воде и биођубрива у оближњим зеленим и пољопривредним површинама[16]. Ова карактеристика побољшава укупну одрживост процеса пречишћавања отпадних вода, истовремено доприносећи очувању животне средине и коришћењу ресурса у околним заједницама.

Међутим, избор између централизованих и децентрализованих система за пречишћавање отпадних вода зависи од различитих фактора, укључујући величину заједнице и еколошку, техничку и економску изводљивост пројекта[17]. Овај процес

[16] *Arias A., Rama M., González-García S., Feijoo G., Moreira M.T., Environmental Analysis of Servicing Centralised and Decentralised Wastewater Treatment for Population Living in Neighbourhoods, Journal of Water Process Engineering, vol. 37, ISSN 2214-7144. 2020.*

[17] Suriyachan C., Nitivattananon V., Amin A.N., Potential of Decentralized Wastewater Management for Urban Development: Case of Bangkok, Habitat Internationbal, 36, 85–92., 2012.

доношења одлука указује на важност разматрања различитих аспеката како би се осигурало најприкладније и најефикасније решење за третман отпадних вода за дати контекст[18].

Развој децентрализованих система за третман отпадних вода представља сложен и интердисциплинарни подухват, првенствено због бројних фактора који утичу на одрживост система. Доносиоци одлука, који су задужени за одређивање најпогоднијег модела децентрализованог система, морају проћи кроз различита потенцијална решења, спровести детаљну анализу и на крају донети одлуку на основу процене свих релевантних критеријума како би испунили постављене захтеве. Ова свеобухватна процена обухвата еколошке, економске, социјалне и техничке аспекте, са посебним нагласком на одрживост и добробит заједнице[19] (Сван, 2023). Штавише, детаљна процена захтева разматрање културе заједнице, степена друштвеног развоја, географске локације, величине популације, као и свакодневних активности.

1.1 Предмет истраживања

Предмет овог истраживања је сакупљање, одвођење и пречишћавање отпадних вода, са посебним фокусом на децентрализоване системе третмана отпадних вода. Управљање отпадним водама представља једну од кључних обавеза човечанства у циљу очувања људског здравља и заштите животне средине. Историјски посматрано, ови системи су пролазили кроз различите фазе развоја, са значајним прекидима током средњег века, али су данас један од основних елемената за одржавање здраве животне средине и одрживог развоја.

У циљу успостављања одрживости децентрализованих модела, пред инжењере се више него икада пре, поставља захтев проналажења решења који за свој рад користе мало или нимало енергије, који не захтевају велика финасијска улагања током изградње, као ни током периода експлоатације, која су једноставна за одржавање и не захтевају висококвалификовано особље. Одговор на овај изазов могу дати управо природни биљни модели – фиторемедијациона постројења за третман употребљених вода.

Кроз рад је дата анализа значаја третмана употребљених вода са аспекта очувања вода и људског здравља, са посебном анализом стања за град Краљево. Анализарана су доступна решења за децентрализоване третмане отпадних вода. У циљу одабира технологије за третман отпадних вода, морају се узети у обзир различити аспекти и критеријуми који имају значајан утицај на одрживост система. Вишекритеријумске анализе су све више прихваћене и коришћене методе за интегрисање квалитативних и кванитативних критеријума комплексних проблема, а

---

[18] *Starkl M., Brunner N., Das S., Singh A., Sustainability Assessment for Wastewater Treatment Systems in Developing Countries, Water, 14, 241, 2022.*

[19] Swan K.H., Surinkul N., Visvanathan C., Investigation of Decentralized Wastewater Treatment System in Urban Wastewater Management: Case Study in Yangon, Myanmar, Sustainability, 2023, 15, 16756, https://doi.org/10.3390/su152416756

све у циљу лакшег одабира оптималног модела. Комбинована су знања из водног инжењерства са наукама одлучивања, а у циљу оптимизације модела третмана оптадних вода за руралне средине, односно за несеља величине до 1000 ЕС.

Примењивост предложеног модела, односно метрика испуњености рада је проверена на студији случаја.

Истраживање је спроведено на територији града Краљева; у Специјалном резервату природе „Засавица“; на биолошком постројењу за третман отпадних вода у Кирнбергу у Аустрији као и на факултету „Футура“ у Београду, у периоду од 2018. до 2023. године.

Просторно гледано, истраживање обухвата град Краљево и Специјални резерват природе „Засавица“ на којем се истражује примена вишекритеруј мске методе одлучивања са циљем оптимизације модела третмана отпадних вода.

Дисциплинарно одређење предмета истраживања припада мултидисциплинарном научном пољу водопривреда и заштита животне средине. Ужа област је менаџмент, научне дисциплине: одрживи развој и вишекритеријумско одлучивање.

1.2 Циљеви истраживања

Основни циљ овог истраживања је идентификација и анализа оптималних решења за децентрализоване системе третмана отпадних вода, са акцентом на обезбеђивање одрживости и ефикасности у контексту мањих насеља и руралних подручја. С обзиром на све већу потребу за развојем ефикасних и економски оправданих решења која могу допринети побољшању квалитета животне средине и здравља у овим специфичним локалним заједницама, истраживање ће се базирати на детаљној вишекритеријумској анализи, која има за циљ не само да предложи техничке, већ и еколошке и економске аспекте, у складу са принципима одрживог развоја.

Основне компоненте истраживања обухватају следеће аспекте:

- Понуда одрживих решења за управљање отпадним водама: Кроз овај процес ће се истражити постојеће технолошке опције које омогућавају ефикасну обраду отпадних вода. Потребно је разматрати и карактеристике конкретних руралних подручја, као што су доступност ресурса и специфичне потребе за минималним утицајем на околну средину.
- Истраживање примене природних биљних система - фиторемедијационих постројења: У овом делу истраживања разматраће се могућности примене природних метода за третман отпадних вода, као што су фиторемедијација, која користи биљке за филтрацију и уклањање контаминаната. Фиторемедијација представља један од веома ефикасних и еколошки прихватљивих начина третмана отпадних вода који може бити економски оправдан, посебно у руралним подручјима, где су ресурси ограничени.

- Приближавање резултата рада доносиоцима одлука и заинтересованим странама: Ово истраживање тежи да пружи јасне, научно поткрепљене и практичне смернице које ће бити лако разумљиве за све актере у процесу управљања отпадним водама, укључујући локалне власти, стручњаке и грађане, односно крајње кориснике. Истраживање ће подстицати доносиоце одлука да активно учествују у процесу избора оптималних решења и охрабрити их да примењују иновације у овом важном сектору. Такође, биће обезбеђени механизми за мониторинг и процену успешности примењених решења, како би се одржала дугорочна одрживост система.

Кроз ове кораке, истраживање има за циљ да допринесе развоју и применама иновативних, одрживих решења која ће осигурати дугорочну ефикасност и еколошку одрживост децентрализованих система третмана отпадних вода у мањим насељима и руралним подручјима, што је од пресудне важности за очување природних ресурса и побољшање квалитета живота у овим областима.

1.3 Хипотезе истраживања

Хипотезе рада произашле су из до сада стеченог знања, анализе литературе, као и на основу утврђених потреба за дефинисање модела третмана отпдних вода задецентрализоване системе, са циљем достизања одрживости. Постављене су следеће хипотезе:

Хипотеза Х1: Здравље човека, као и квалитет вода су у директној вези са неконтролисаним и небезбедним третманом отпадних вода.

Хипотеза Х2: Заинтересоване стране су спремне да примене иновативна решења у третману отпадних вода као и да узму учешћа у механизму доношења одлука.

Хипотеза Х3: Природни биљни системи – фиторемедијациона постројења за пречишћавање отпадних вода прихватљив су и економски оправдан начин третмана отпадних вода у мањим насељима, јер немају велике утрошке енергије и користе процесе који се и иначе догађају у природи, чиме подржавају одрживи развиој. Еколошки су прихватљиви јер биљке пречишћавају отпадне воде и уклапају природно окружење и често постају станишта животињама.

Научни допринос ове докторске дисертације се односи на унапређење у процесу доношења одлуке и решења са циљем оптимизације модела третмана отпадних вода и успостављања одрживости ових система. На основу горе изреченог, може се очекивати:

- да се повећањем информисаности и образовања свих заинтересованих страна, могу охрабрити доносиоци одлука да схвате свој значај и активно учествују у решавању проблема третмана отпадних вода;
- да је модел вишекритерујмске анализе погодан за имплементирање у процесу оптимизације модела третмана отпадних вода за рурална насеља, уз обавезну партиципацију заинтересованих страна приликом рангирања релевантних критеријума, а све у циљу достизања одрживости модела третмана отпадних вода;
- да природни биљни модели на бази фиторемедијације могу да буду оптимални модел за пречишћавање отпадних вода руралних насеља, уз услов да кроз вишекритеријумску анализу најбоље одговоре на постављене критеријуме у економском, еколошком и социјално-институциалном погледу;
- да ће се истаћи значај увођења децентрализованог приступа у регулаторним процесима и планским документима.

1.4 Методе истраживања

Истраживање је спроведено коришћењем мултидисциплинарних метода из области водопривреде и заштите животне средине, са фокусом на:

i. анализу постојећих радова и знања у области значаја и постојећих метода третмана отпадних вода;
ii. анализу анкете о спремности мештана за примену иновативних решења у области третмана отпадних вода;
iii. могућност примене вишекритеријумске анализе за одабир оптималног модела третмана отпадних вода за рурална подручја Србије;
iv. анализу студије случаја на специјалном резрвату природе Засавица.

i. Анализа постојећих радова и знања представља важан део сваког истраживања, јер омогућава разумевање тренутног стања на одређеном научном пољу и пружа контекст за нова истраживања. У овом случају, анализа постојећих радова и знања у области децентрализованих система за прераду отпадних вода била је усмерена на анализу значаја третмана отпадних вода и утицаја на здравље људи као и преглед постојећих технологија, приступа и решења која се користе, посебно, у руралним подручјима. Користиће се дескриптивне и компаративне методе како би се анализирао тренутно стање у Србији. Детаљно ће се анализирати утицај отпадних вода на квалитет водених ресурса и здравље грађана, коришћењем статистичких података и доступних студија. А за део који се односи на анализу утицаја на водне ресурсе, користиће се GIS алати за приказ тренутног стања.

   При анализи доступних технологија за третман отпадних вода проучиће се технолошки принципи рада неколико најчешће коришћених технологија за третман отпадних вода у руралним срединама (SBR, MBR, MBBR, фиторемедијација), а кроз анализу постојеће литературе. Потом ће се кроз

упоредну анализа извршити евалуација свих доступних технологија на основу ефикасности, трошкова, компатибилности са екосистемом и других релевантних критеријума.

Примере добре праксе третмана отпадних вода у различитим географским подручјима, како у Србији тако и у иностранству, да би се идентификовале најбоље примењиве праксе које могу послужити као узор за развој и примену сличних решења у Србији. У Србији је анализиран Специјални резерват природе „Засавица“, а у Аустрији постројење у Кирнбергу.

За део који се односи на законску регулативу у области третмана отпадних вода, метод ће се базирати на правном истраживању и анализи важећих прописа у Европској унији и Србији.

ii. У циљу утврђивања спремности мештана града Краљева, за примену иновативних решења у области третмана отпадних вода, спровешће се анкета, којом ће бити обухваћено 204 испитаника са територије 64 месних заједница града Краљева. За реализацију анкете ће бити припремљен упитник, који ће се попунити кроз локални теренски рад и директне интервјуе. Упитник ће се састојати од два дела питања затвореног типа, општег дела који се односи на социо-демографске информације испитаника, односно место становања, старост и образовање и други део који се односи на на ставове и информисаност испитаника о управљању отпадним водама, те њихову спремност да прихвате иновације у овом сектору. Анализа података ће се спровести кроз квантитативна анализа (за питања на која се одговори дају преко скале оцена) и квалитативна анализа (за отворена питања). Прикупљени подаци анкетом су анализирани коришћењем програма за статистичку обраду података SPSS (The Statistical Package for the Social Scieces) и Microsoft Excel за основну анализу и визуелизацију података. Анализа ће омогућити процену степена информисаности и прихватљивости мештана, као и препоруке за примену нових технологија у области третмана отпадних вода, на основу демографских карактеристика.

iii. У овиру овог рада, оптимизација модела третмана отпадних вода, интегришући квантитативне и квалитативне критеријуме, ће се извршити применом методе корисности PROMETHEE (Preference Ranking Organization Methodod for Enrichment Evaluation), која представља једну од последњих, најкомплетнију и најсавременију софтверску имплементацију методе вишекритеријумске помоћи у одлучивању. Ова метода омогућава:

1. Интеграцију квантитативних и квалитативних података: Коришћењем овог софтвера, могу се анализирати различити критеријуми као што су ефикасност третмана, трошкови, еколошки утицаји, и прихватљивост од стране корисника

2. Рангирање опција: На основу постављених критеријума, метод омогућава добијање рангирања различитих модела третмана, од најбоље до најлошије опције.
3. Визуализација проблема: Софтвер омогућава визуелизацију резултата анализа, што олакшава разумевање потешкоћа у процесу одлучивања, посебно када се више стручњака или заинтересованих страна укључи у процес.
4. Постизање консензуса: Уз помоћ ове методе, могуће је постићи консензус међу различитим доносицима одлука који могу имати супротна мишљења о одређеним аспектима решења.

Ова методологија обухвата комбинацију теоријских и практичних техника које ће помоћи да се на основу анкетних резултата и вишеструке анализе критеријума оптимизује најбоља технологија за третман отпадних вода.

iv. Специјални резерват природе „Засавица“ у Србији ће бити анализиран у контексту примењивости вишекритеријумске методе и примене фиторемедијационих технологија у Србији, са акцентом на еколошке, технолошке и економске аспекте који могу допринети унапређењу система за третман отпадних вода у Србији. При пројектобвању система ће се применити принципи инжењерског пројектовања и анализе техничке ефикасности (хидролошка анализа, хидраулички прорачуни). У циљу успостављања одрживости предложеног пројектног решења развиће се стратегија за мониторинг и одржавање система са дефинисаним параметрима који ће бити праћени током периода рада (квалитет воде, ефикасност филтрације и др.).

Методологија предметног рада ће бити свеобухватна, са интеграцијом више метода истраживања – од теоријске анализе, преко анкета и вишекритеријумске анализе, до пројектовања и мониторинга примене решења. Ова врста приступа ће обезбедити дубоко разумевање и доказе о ефикасности децентрализованих система за третман отпадних вода у Србији. На крају, кроз закључна разматрања ће се ће се користити метод синтезе како би се објединили сви резултати добијени у претходним поглављима.

Поглавље 2: Значај третмана отпадних вода са аспекта очувања животне средине и водних ресурса

2.1 Анализа стања третмана отпадних вода у Србији

Отпадне воде у Србији могу се класификовати у више категорија, укључујући комуналне отпадне воде (употребљене воде), индустријске отпадне воде (процесне и технолошке воде), атмосферске воде, отпадне воде из пољопривреде и отпадне воде са депонија. Свака од ових категорија доприноси специфичним изазовима у управљању водним ресурсима, при чему је ефикасан третман отпадних вода од суштинског значаја за одржавање здраве животне средине.

Непречишћене отпадне воде имају значајан негативан утицај на квалитет животне средине, нарочито на водне ресурсе, укључујући како површинске, тако и подземне воде. Директно загађење водних ресурса представља један од највећих еколошких проблема, јер водни ресурси имају кључну улогу у одржавању животних услова и биодиверзитета. У том контексту, очување и заштита водних ресурса представљају приоритет у глобалним и националним политикама заштите животне средине.

Третман отпадних вода представља један од кључних аспеката одрживог управљања водним ресурсима, који има значајан утицај на животну средину, јавно здравље и економски развој. У том контексту, Директива о водама Европске уније[20] поставља основу за интегрисано управљање водним ресурсима са циљем заштите и унапређења квалитета вода широм Европе. Један од главних циљева Директиве је заштита водних система однсоно достизање "доброг еколошког стања" свих водних тела. Третман отпадних вода смањује унос загађивача као што су нутријенти (азот и фосфор), токсичне хемикалије и микропластика, који могу довести до еутрофикације и деградације водних екосистема. Непречишћена отпадна вода може садржати патогене микроорганизме, као што су бактерије и вируси, који представљају ризик за здравље људи. Пречишћавање отпадних вода елиминише или смањује ове ризике, чиме се обезбеђује сигурност питке воде и рекреативних водних површина[21]. Третман отпадних вода спречава деградацију водних ресурса, што је од суштинског значаја за економске активности као што су пољопривреда, рибарство и туризам. Директива подстиче улагања у инфраструктуру за пречишћавање отпадних вода, што доприноси отварању радних места и дугорочној економској одрживости.

Пречишћавање отпадних вода уз коришћење савремених технологија омогућава поновну употребу воде и производњу енергије из отпадних материјала, што доприноси ублажавању климатских промена и промоцији кружне економије.

[20] Water Framework Directive WFD2000/60, Official Journal of EU, L 327/1, Brussel.
[21] Water Directive of treatment waste water, 91/271/EEC, Brussel.

Директива о водама успоставља обавезе за државе чланице ЕУ да развију планове управљања речним сливовима, који укључују мере за побољшање третмана отпадних вода. Земље које су у процесу приступања ЕУ, као што је Србија, морају прилагодити своје националне политике и инфраструктуру овим стандардима.

У циљу смањења утицаја отпадних вода на животну средину, Европска унија је 1991. године донела Директиву о третману комуналних отпадних вода (EU Directive 91/271/EEC), којом се прописује обавеза сваке земље да прикупља и третира отпадне воде. Ова директива је усмерена на заштиту површинских вода од директног загађења и поставља обавезу да се отпадне воде пречишћавају најмање до секундарног нивоа, што подразумева биолошки третман.

Третман отпадних вода у складу са Директивом о водама није само законска обавеза, већ и предуслов за одрживо коришћење водних ресурса и заштиту животне средине. Улагањем у овај сектор обезбеђује се здравија будућност за људе и екосистеме, као и боље искоришћавање природних ресурса.

Србија је, у складу са обавезама из Поглавља 27 у процесу приступања Европској унији, усвојила низ законских и подзаконских аката са циљем усаглашавања националне регулативе са европским стандардима. Ове мере представљају корак ка унапређењу инфраструктуре за третман отпадних вода и бољој заштити водних ресурса на националном нивоу.

Прикупљање, одвођене и третман отпадних вода је, кроз Закон о комуналним делатностима, поверено локалним самоуправама, која су на локалном нивоу основала Јавна комунална предузећа, којима је, даље, овај посао поверен. Комунална инфраструктура и објекти су у власништву локалних самоуправа, док је посао одржавања и управљања комуналним системима поверен Јавним комуналним предузећима. Према званичним подацима Агенције за заштиту животне средине Републике Србије, постоји 178 регистрованих Јавних комуналних предузећа, која се поред производње питке воде баве и прикупљањем и третманом отпадних вода. Сва предузећа имају обавезу достављања годишњих извештаја за сваки испуст загађујућих материја. Услов за постизање адекватног мониторнига стања квалитета површинских и подземних вода јесте достављање што квалитетнијих резултата и извештаја Агенцији. У циљу квалтетне израде овог извештаја, неопходно је да јавна комунална предузећа имају адекватну опрему за мерење, као и квалификован људски ресурс за спровођење потребних активности ради сачињавања извештаја.

Анализирајући доступне податке из Републичког завода за статистику у периоду оод 2013. до 2017. године долазимо до податка да је на комуналну инфраструктуру прикључено око 59.16% становништва. Већина преосталих домаћинстава користи септичке јаме или директно испушта отпадне воде у природне ресурсе. Проценат прикључености је већи у урбаним срединама, док су рурална подручја углавном без развијене канализационе мреже.

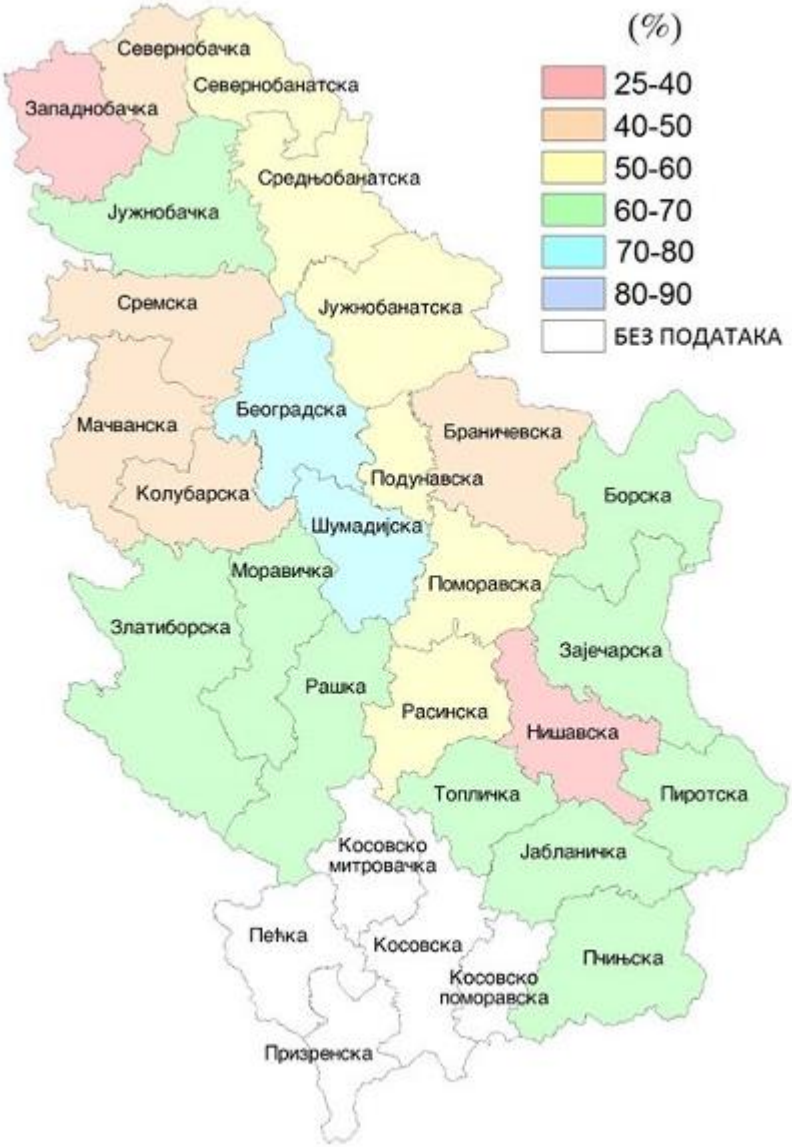
Овај податак постаје алармантнији када га упоредедимо са подацима држава које су прошле кроз сличане друштвено-екононске околности, Чешка 94%, Пољска 80%, Бугарска 67%[22]. У табели 2.1 и слици 2.1 је дат процентуални приказ броја становништва који је прикључен на канализациони систем по областима у Републици Србији, подаци су преузети са сајта Републичког завда за статистику.

Табела 2.1: Проценат домаћинства прикључен на канализациону мрежу23

Период	РЕПУБЛИКА СРБИЈА	СРБИЈА – СЕВЕР	Београдски регион	Регион Војводине	СРБИЈА – ЈУГ	Шумадија и Западна Србија	Рашка област	Јужна и Источна Србија
2013.	57.4	65.4	88.2	45.6	48.8	52.3	50.7	44.4
2014.	58.6	66.2	88.4	46.9	50.2	54.5	57.8	45
2015.	59.2	66.6	88.5	47.6	51.2	55.5	59	45.9
2016.	60	67.3	88.5	48.8	52.2	56.7	62.1	46.5
2017.	60.6	67.6	88.5	49.4	53	57.5	65.1	47.4

[22] *др Небојша Вељковић "Студија отпадних вода и технички процес стратегије одрживог развоја Србије", Министарство науке и заштите животне средине Републике Србије, Агенција за заштиту животне средине, септембар 2005.*

[23] *Републички завод за статистику. На сајту:* *https://data.stat.gov.rs/Home/Result/25010307?languageCode=sr-Cyrl&displayMode=table&guid=2954c4c2-976d-4205-adda-aa261e35528e*



Слика 2.1: Проценат становника прикључених на јавну канализацију по областима (2022. година) [24]

[24] *Извештај о стању животне средине у Републици Србији за 2023. годину, Агенција за заштиту животне средине, Министарство заштите животне средине, Београд, 2024.*

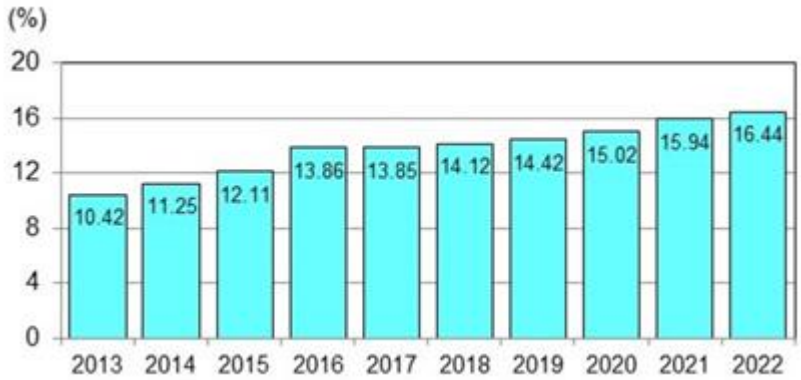
Техничко стање колекторских система у Србији није у потпуности познато. Оно што се може са сигурношћу констатовати је да је већина колекторских система изграђена пре више од 40 година. Због неадекватног одржавања, као и недовољног финансијског улагања у реконструкцију истих, честа ситуација је да имамо појачан степен хитних интервенција како би се мрежа одржала у функционалном стању. Канализациони системи могу бити општег и сепаратног типа. Код општег типа се употребљена вода и атмосферска вода одводе истим колекторима, док се код сепратног типа граде засебни колектори за употребњене (комуналне и индустријске) отпадне воде и засебни колектори за атмосферске воде, које се без третирања могу упустити у реципијенте. Чест је случај, да због недостатка финансијских средстава, изградња атмосферске мреже не прати развој фекалне канализационе мреже, те већина система ради као општи систем, што за последицу има хаваријске ситуације у време великих падавина, јер колекотри за употребљене воде нису пројектовани да приме и атмосферске воде, те долази до испада система и неконтролисаног изливања отпадних вода. Такође, овакви присилни општи системи могу озбиљно да угрозе рад постројења за третман отпадних вода, која нису пројектована и изграђена тако да могу да приме толику количину разблажене отпадне воде. Поред знатно увећане количине воде, проблем је и степен разблажења, који негативно утиче на биолошки третман отпадних вода.

Током седамдесетих и осамдесетих година прошлог века Србија је, заједно са данас развијеним земљама, кренула у озбиљно решавање овог проблема и у више градова су изграђена тада модерна постројења – конвенционалног типа. Тих година изграђено је око 50 градских постројења у насељима већим од 2000 становника. Дешавања у последњој деценији 20. века су довела до потпуног прекида даљег развоја у области заштите вода, прекинути су сви пројекти, тако да су многа постројења остала делимично изграђена. Решавање проблема пречишћавања отпадних вода, у нашој земљи, је тема која је дуго била потпуно запостављена. Нажалост, већина изграђених постројења, услед дотрајалости и неадкватног одржавања, сада не испуњава услове потребног капацита, као ни услове захтеване ефикасности. Према подацима из Агенције за заштиту животне средине, данас у Србији укупно 47 градова и општина имају постројење за пречишћавање отпадних вода, од којих је 26 у функцији, а само 5 јединица локалне самоуправе има постројење са терцијарним третманом.

У табели 2.2 је дат процентуални приказ количина пречишћене отпадне воде према типу третмана. На слици 2.2 је дат процентуални приказ становника обухваћеног третманом отпадних вода, у периоду 2013 – 2022. година, а на слици 2.3 проценат становништва обухваћеног третманом за пречишћавање отпадних вода у зависности од врсте третмана. Сви подаци су преузети са сајта Републичког завода за статистику Републике Србије.

Табела 2.2: Пречишћене отпадне воде према типу третмана[25]

	Индикатор	Пречишћене отпадне воде из насеља према типу третмана [Хиљада кубних метара]					
	Период	2023. година					
	Отпадне воде, третман и испуштање	Отпадне воде – укупно	Пречишћене отпадне воде	Примарни третман	Секундарни третман	Терцијарни третман	Непречишћене отпадне воде
Територија - НСТЈ							
РЕПУБЛИКА СРБИЈА		308047 (p)	63052 (p)	4972 (p)	36110 (p)	21969 (p)	244995 (p)
СРБИЈА – СЕВЕР		179757 (p)	16639 (p)	-	7117 (p)	9522 (p)	163118 (p)
Београдски регион		111038 (p)	-	-	-	-	111038 (p)
Регион Војводине		68719 (p)	16639 (p)	-	7117 (p)	9522 (p)	52080 (p)
СРБИЈА – ЈУГ		128290 (p)	46412 (p)	4972 (p)	28993 (p)	12447 (p)	81877 (p)
Шумадија и Западна Србија		78680 (p)	38272 (p)	4972 (p)	21045 (p)	12255 (p)	40408 (p)
Јужна и Источна Србије		49609 (p)	8140 (p)	-	7948 (p)	192 (p)	41469 (p)
Регион Косово и Метохија		...	...	...	...	...	...



Слика 2.2: Проценат становника обухваћеног третманом отпадних водау Републици Србији у периоду 2013 – 2022. година [26]

[25] *Републички завод за статистику. На сајту:* *https://data.stat.gov.rs/Home/Result/25010307?languageCode=sr-Cyrl&displayMode=table&guid=2954c4c2-976d-4205-adda-aa261e35528e*

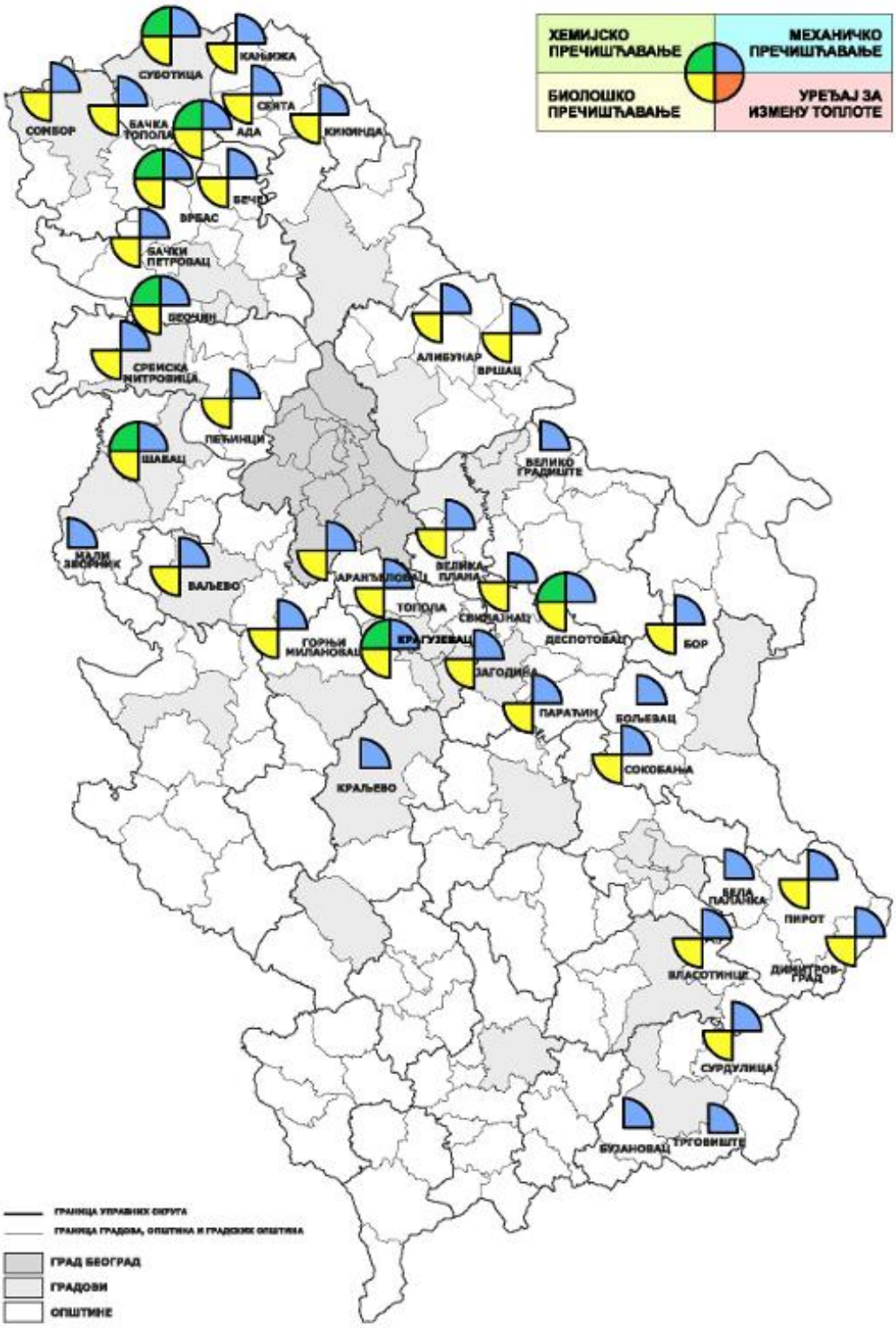
[26] *Извештај о стању животне средине у Републици Србији за 2023. годину, Агенција за заштиту животне средине, Министарство заштите животне средине, Београд, 2024.*

Слика 2.3: Проценат становништва обухваћеног третманом за пречишћавање отпадних вода у зависности од врсте третмана у Републици Србији у периоду 2013-2022. година [27]

Организована и изграђена канализација постоји углавном у урбаним деловима општинама док већина руралних подручја нема изграђену канализациону мрежу као ни системе за третман отпадних вода. Становништво руралних подручја користи септичке јаме или директно испуштање у најближи реципијент. Септичке јаме у великом броју не задовољавају санитарно-техничке услове (грађене су без дозвола за градњу, на непрописним удаљеностима од објекта и бунара за воду, не испуњавају услове водонепропусности, грађене су са преливима у отворене канале или у подземље), што за последицу даје да су нам водотоци оптерећени високим концентрацијама потенцијално опасним материјама. У циљу очувања водних ресурса јасно је да је потребно повећати степен третмана отпадних вода у нашој земљи. Пречишћавање комуналних отпадних вода препознато је као један од приоритета у бројним стратешким документима, део је скоро сваке званичне политике која анализира област вода, док је у процесу дефинисања преговарачке позиције за поглавље 27. идентификовано као финансијски захтевна област која носи 64% од укупног износа Капиталних трошкова (CAPEX) за водни подсектор.

На слици 2.4 је дат преглед постојећих постројења за третман отпадних вода у Републици Србији према врсти третмана отпадних вода током 2022. године.

[27] *Извештај о стању животне средине у Републици Србији за 2023. годину, Агенција за заштиту животне средине, Министарство заштите животне средине, Београд 2024.*



Слика 2.4: Системи за пречишћавање отпадних вода по врсти третмана у Републици Србији у 2022. години28

[28] *Извештај о стању животне средине у Републици Србији за 2023. годину, Агенција за заштиту животне средине, Министарство заштите животне средине, Београд 2024.*

2.2 Анализа утицаја отпадних вода на квалитет вода

Један од најзначајних загађивача водних тела јесу управо непречишћене употребљене воде. Републички хидрометеролошки завод врши редовна осматрања површинских и подземних вода, која се у континуитету спроводе од 1947. године. Прва водомерна станица била је на десној обали Дунава, код Петроварадина, изграђена 1812. године. Према подацима из Републичког хидрометеоролошког завода осматрање површинских вода се врши на 211 хидролошкој станици објављују се у Хидролошким годишњацима.

Агенција за заштиту животне средине у Републици Србији редовно проводи мониторинг квалитета површинских и подземних вода, у складу са годишњим плановима[29] [30] [31] [32] [33]. На основу ових планова, агенција припрема годишње извештаје који пружају детаљне информације о резултатима испитивања. Ови извештаји обухватају анализу биолошких компоненти важних за оцену еколошког стања или потенцијала водних тела, као и физичко-хемијских, хемијских и микробиолошких параметара који утичу на квалитет воде.

Мониторинг обухвата процесују биолошких, физичко-хемијских компоненти као и контролу приоритетних опасних супстанци и загађујућих материја и микробиолошке параметре. Биолошке компоненте, као што су фитопланктон, фитобентос, макрофите и макроинвертебрате, су кључне за оцену еколошког стања водних екосистема. Физичко-хемијске и хемијски параметри квалитета површинских вода укључују све важне индикаторе који могу утицати на здравље водних тела и окружења. Контрола приоритетних опасних супстанци и загађујућих материја обухвата све материје и супстамце које могу представљати значајан ризик за здравље људи и животну средину. Микробиолошки параметри третирају све оне који указују на потенцијалну контаминацију и ризик од заразних болести.Ове активности су усмерене на обезбеђивање свеобухватног и прецизног надзора над водним ресурсима, што је кључно за очување животне средине и здравља становништва.

У табели број 2.3 дат је преглед типичних вредности параметара комуналних отпадних вода, које се у највећем броју случајева у Србији непречишћене изливају у реципијент.

---

[29] *Правилник о утврђивању водних тела површинских и подземних вода (Сл. гласник РС, број 96/2010), препоруке Оквирне директиве о водама Европскеуније (ОДВ)*

[30] Правилник о референтним условима за типове површинских вода (Сл. гласник РС, број 67/2011)

[31] *Правилник о параметрима еколошког и хемијског статуса површинских вода и параметрима хемијског и квантитативног статуса подземних вода (Сл. гласник РС, број 74/2011),*

[32] *Уредба о граничним вредностима загађујућих материја у површинским и подземним водама и седименту и роковима за њихово достизање (Сл. гласник РС, број 50/2012),*

[33] *Уредба о граничним вредностима приоритетних и приоритетних хазардних супстанци које загађују површинске воде и роковима за њихово достизање (Сл. гласник РС, број 24/2014)*

Табела 2.3: Типичне вредности параметара квалитета комуналних отпадних вода[34]

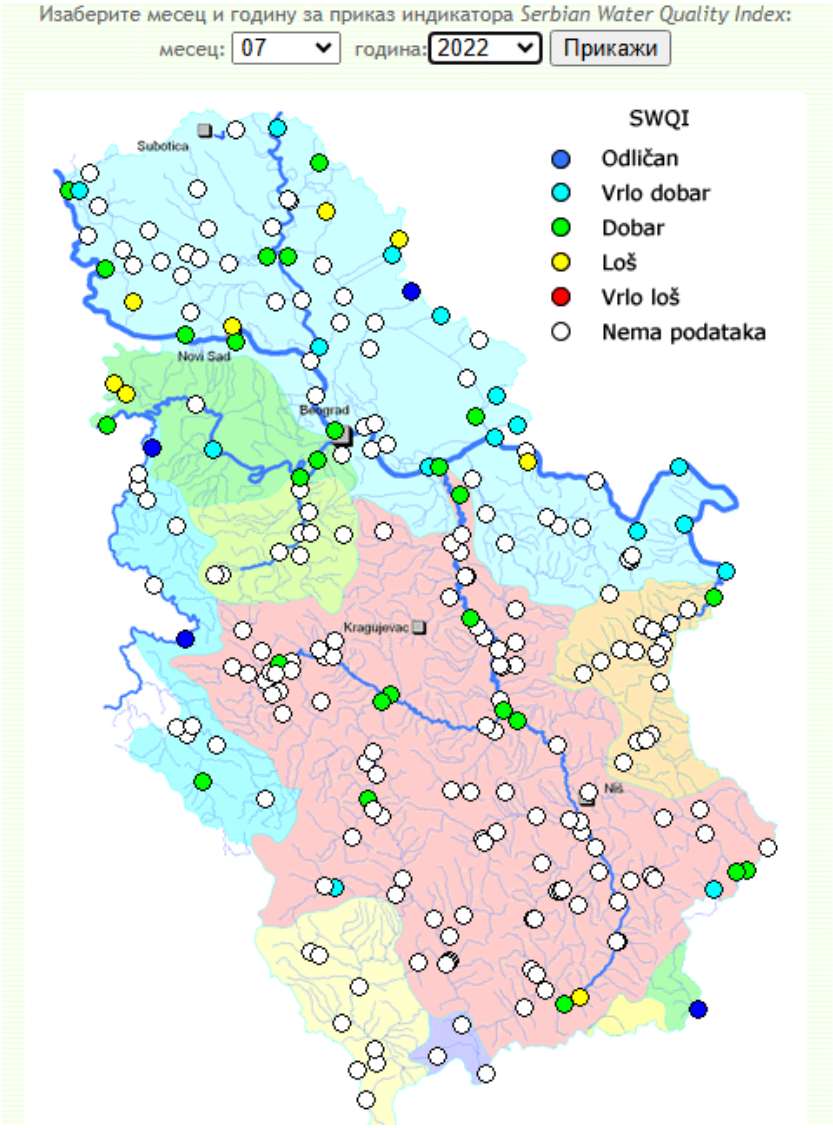
Параметар квалитета воде	***Јединица***	***Концентрација***	
		опсег	***просечно***
Укупне суспендоване материје	mg/l	350 - 1200	720
Растворене материје	mg/l	250 - 850	500
Суспендоване материје	mg/l	100 - 350	220
Таложне материје	mg/l	5 – 20	10
pH	mg/l	6 – 9	8
Биохемијска потрошња кисеоника BPK_5	mg/l	110 – 400	200
Укупни органски остатак TOC	mg/l	80 – 290	160
Хемијска потрошња кисоника HPK	mg/l	250 – 1000	500
Азот укупни (као N)	mg/l	20 – 85	40
Азот органски (као N)	mg/l	8 – 35	15
Слободни амонијак (као N)	mg/l	12 – 50	25
Нитрити (као N)	mg/l	0	0
Нитрати (као N)	mg/l	0	0
Фосфор укупни(као P)	mg/l	4 - 15	8
Фосфор органски (као P)	mg/l	1 – 5	3
Фосфор неорганski (као P)	mg/l	3 – 10	5
Хлориди	mg/l	30 – 100	50
Алкалитет(као CaCO3)	mg/l	50 – 200	100
Масти	mg/l	50 - 150	100

Процена стања површинских вода спроводи се коришћењем индикатора Serbian Water Quality Index (SWQI). Овај индикатор представља композитни показатељ који комбинује десет параметара физичко-хемијског и микробиолошког квалитета воде. Параметри укључени у SWQI су:

- Сатурација кисеоником
- Биохемијска потреба за кисеоником у периоду од 5 дана (BPK_5)
- Амонијум јони
- pH вредност
- Укупни оксиди азота
- Ортофосфати
- Суспендоване честица
- Температура воде
- Електрична проводљивост
- Колиформне бактерије

Ови параметри пружају свеобухватан увид у квалитет воде и помажу у откривању потенцијалних проблема и ризика који могу утицати на здравље водних екосистема и људског становништва.

[34] *George T., Franklin B., H. David Sensel, Wastewater Engineering; Treatment and Reuse, Metcalf & Eddy, inc 1993.*



Слика 2.5: Приказ Serbian Water Quality Index35 (*The Serbian Water Quality Index SWQI*) [10]

Годишње анализе квалитета вода у Србији, рађене применом индекса SWQI, показују да током летњих месеци (од јуна до августа) долази до повећања броја локација са лошим квалитетом воде. Резултати из 2022. године указују на значајан утицај отпадних вода на водотокове у периоду када су водостаји и протицаји знатно смањени. У сушним летњим месецима, нижи нивои реке не могу адекватно да разблаже загађења, што доводи до погоршања стања воде. На слици 2.5 је дат приказ *Serbian Water Quality Index* за јул 2022. годину.

Ова ситуација посебно наглашава важност правилног управљања отпадним водама и потребу за побољшањем инфраструктуре за њихово пречишћавање, као и примену мера заштите животне средине. Резултати SWQI-а указују на то да утицај људских активности, попут испуштања непрерађених отпадних вода, има велики утицај на водне ресурсе током

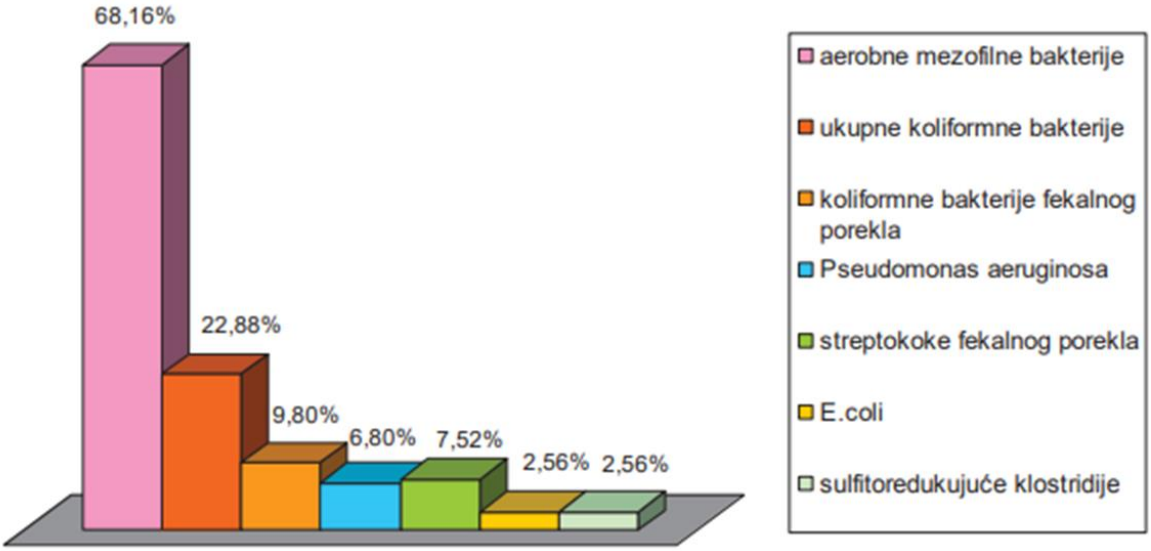
[35] *Министартсво заштите животне средине, Агенција за заштиту животне средине. На сајту:* http://77.46.150.206/app/sqi/swqi.php?code=*1*

летњих сушних периода, чиме се значајно угрожавају еколошке и социоекономске функције водотокова.

2.3 Анализа утицаја отпадних вода на здравље грађана

Употребљене воде из домаћинства оптерећене су људским отпадом - фецес и урин, затим отпадним материјама из хигијенског одржања – одржавање хигијене, прирпема хране, прање веша. Са аспекта људског здравља, највећу опасност представља присуство микроорганизама, од којих неки имају и патогени карактер, те могу изазвати цревна обољења – тифус, колера, дизантерија и други). Вируси Хепатитиса А и Е се могу ширити преко воде за пиће која је контаминирана фекалним садржајем из канализације.

У нашој земљи постоје национали подаци квалитета воде за пиће али само за већа урбана насеља, док за руралне средине, које, у већини, немају организоване системе водоснабдевања, не постоји систематска евиденција стања локалних – сеоских водовода. Контрола квалитета воде за пиће се спроводи само за мали број сеоских водовода и то је повременог карактера. Резултат оваквог стања је да се не региструје велики број обољења услед неадекватног квалитета воде за пиће. На слици 2.6 дат је приказ структуре узрочника микробиолошке неисправности воде за пиће.



Слика 2.6: Стуктура узрочника микробиолошке неисправности воде за пиће[36]

Према документу Национална стратегија одрживог развоја Србије („Службени гласник РС“, број 57 од 3. јуна 2008.), око 63% становништва је прикључено на јавни систем водоснабдевања, 14% становништва је прикључено на локалне водоводе, а преосталих 23% се снабдева водом преко појединачних извора. У руралним подручјима, ситуација је посебно проблематична. Већина ових средина нема изграђену канализациону мрежу. Отпадне воде се одводе у септичке јаме, које су често лоше

[36] *Група аутора, Здравствени индикатори животне средине у Републици Србији у 2015. години, Институт за јавно здравље Србије „Др Милан Јовановић Батут“, 2016.*

одржаване, а неконтролисано изливање представља ризик за загађење подземних и површинских вода. Снабдевање пијаћом водом у овим подручјима најчешће се ослања на локалне системе који немају санитарну заштиту око извора воде, као ни адекватну контролу квалитета и одржавање система. Додатни проблем представљају индивидуални бунари, који се често налазе у непосредној близини септичких јама, што повећава ризик од загађења пијаће воде. Ово указује на висок степен опасности по здравље становништва у руралним подручјима и могућност ширења хидричних болести, као што су цревне инфекције или тровања.

Оваква ситуација наглашава потребу за улагањем у инфраструктуру водоснабдевања и канализације у руралним срединама, уз бољу контролу и надзор квалитета воде за пиће, како би се смањили здравствени ризици и обезбедила основна санитарна безбедност.

Према објављеном извештају, Института за јавно здравље „Др Милан Јовановић Батут“ у Здравствено-статистичком годишњаку Републике Србије, током 2016. године извршена је контрола 2522 јавних водовода и објеката. Процентулани приказ контролисаних извора водоснабдевања током 2016. године је дат на слици 2.7.

Слика 2.7: Процентуални приказ контролисаних извора водоснабдевања[37]

Болести изазване патогеним микроорганизмима које сеналазе у води се могу пренети током пијења воде, конзумирањем хране изложеној контаминираној води, купањем, прањем. Најчешће се ради о дијареји, повраћању, проблеми са кожом, респираторним органима или очима.

Када говоримо о микробиолошкој неисправнсоти воде за пиће, узрокована нетретираном отпадном водом, на првом месту издвајамо присуство фекалних колиформних бактерија. Оне су уобичаје у нашем окружењу и налазе се у људском и

[37] *Здравствено-статистички годишњак Републике Србије 2016. Институт за јавно здравље србије „Др Милан Јовановић Батут”*

животињском отпаду. Њихово присутво у води за пиће представља ризик по здравље људи и најпогодније су за вредновање хигијенског квалитета воде за пиће.

Escherichia coli је бактерија која насељава црева човека и животиња. Њено присуство у води за пиће је знак контаминираности фекалним водама. Конзумација воде оптерећене овом бактеријом може довести до инфекција гастроинтестиналног и урогениталног тракта, сепсе, менингитиса, запаљења плућа и др.

Институт за јавно здравље Србије „др Милан Јовановић Батут" прати појаву заразних болести и резултате објављује у Годишњим извештајима. На основу извештаја за 5 година (2015 – 2019) уочава се да је у наведеном приоду дошло до појаве 6 хидричних епидемија (најчешће *Diarrhoea et gastroenteritis*), у којој је оболело 237 особа. Узроци појав хидричних епидемија углавном потичу од коришћења воде са локалних контаминираних водовода. У табели 2.4 дат је приказ броја пријављених хидричних епидемија по годинама са бројем оболелих. Код свих је начин заразе употреба воде из локалног водовода.

Табела 2.4: Преглед хидричних обољења кроз године [38]

Година	Број хидричних епидемија
2015.	2 (109 оболелих особа)
2016.	1 (51 оболела особа)
2017.	1 (17 оболелих особа)
2018.	1 (36 оболелих особа)
2019.	1 (24 оболеле особе)

2.4 Анализа стања вода - студија случаја града Краљева

Град Краљево заузима 1.530 km^2 и по површини је једна од највећих јединица локалне самоуправе у Србији. Састоји се од 92 насељена места. Према Попису из 2022. године од укупног броја, 111.491 становника, у урбаном делу живи 57.432 становника док на сеоском подручју живи 54.059 становника, што представља 48.5% укупног броја становника града Краљева.

[38] *Извештај о заразним болестима у Републици Србији за 2015. годину, Институт за јавно здравље Србије „др Милан Јовановић Батут"*
[38] *Извештај о заразним болестима у Републици Србији за 2016. годину, Институт за јавно здравље Србије „др Милан Јовановић Батут"*
[38] *Извештај о заразним болестима у Републици Србији за 2017. годину, Институт за јавно здравље Србије „др Милан Јовановић Батут"*
[38] *Извештај о заразним болестима у Републици Србији за 2018. годину, Институт за јавно здравље Србије „др Милан Јовановић Батут"*
[38] *Извештај о заразним болестима у Републици Србији за 2019. годину, Институт за јавно здравље Србије „др Милан Јовановић Батут"*

Табела 2.5: Структура становништва према типу насеља, Попис 2022. године39

	Попис 2022. године			
	Град Краљево		Рашки округ	
	Број	Учешће (%)	Број	Учешће (%)
Градско становништво	57.432	51.50	161.850	**54.60**
Остало становништво	54.059	48.50	134.682	**45.40**
Укупно становништво	**111.491**	**100**	**296.532**	**100**

Табела 2.6: Преглед насеља по броју становика – укупно 92 насеља

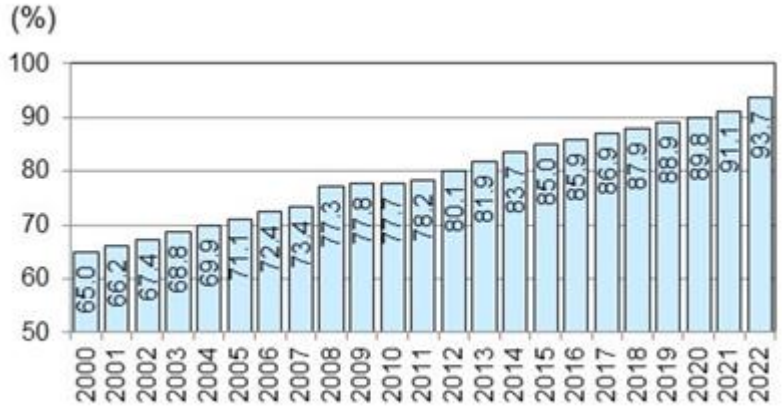
	Број насеља
Насеља до 100 становника	28
Насеља од 100 до 300 становника	32
Насеља од 300 до 500 становника	9
Насеља од 500 до 2000 становника	18
Насеља од 2000 до 5000 становника	4
Градско насеље	1

Један од кључних развојних изазова локалних самоуправа у Србији је да на целој својој територији уреди услугу водоснабдевања. Услуга водоснабдевања је доступна углавном у урбаним насељима, док у рурланим срединама готово да нема успостављене адекватне комуналне услуге.

Званична статистика прати различите аспекте услуга водоснабдевања, међу којима је и број домаћинстава која се снабдевају водом из јавних водовода. Проценат становника прикључених на јавни водовод у периоду од 2000. до 2022. године бележи континуирани пораст. У 2000. години, прикљученост је износила свега 65%, а за 2022. годину податак је да чак 93,7% становништва има прикључак на неки од јавних водоводних система[40]. Овај пораст значајно доприноси обезбеђивању водоснабдевања за већи број становника и привредних субјеката насеља, при чему се осигурава доступност воде која задовољава здравствене стандарде и услове за употребу у пиће и производњи. На слици 2.8 је дат приказ пораста броја становника априкључених на јавни водовод у периоду од 2000. до 2022. године.

[39] *Републички завод за статистику, Попис 2022. године, Старост и пол, Подаци по насељима, Београд, 2023.*

[40] *Група аутора, Извештај о стању животне средине у Републици Србији за 2023. годину, Агенција за заштиту животне средине, Министарство заштите животне средине, Београд 2024.*



Слика 2.8: Проценат становника прикључених на јавни водовод (2000-2022. године) [41]

Важно је напоменути да прикљученост на јавни водовод варира између различитих региона и локалних самоуправа, што указује на значајну територијалну неуједначеност у расподели инфраструктуре, а што је приказано и у табели 2.7.

Табела 2.7: Прикљученсот домаћинствана јавни водовод[42]

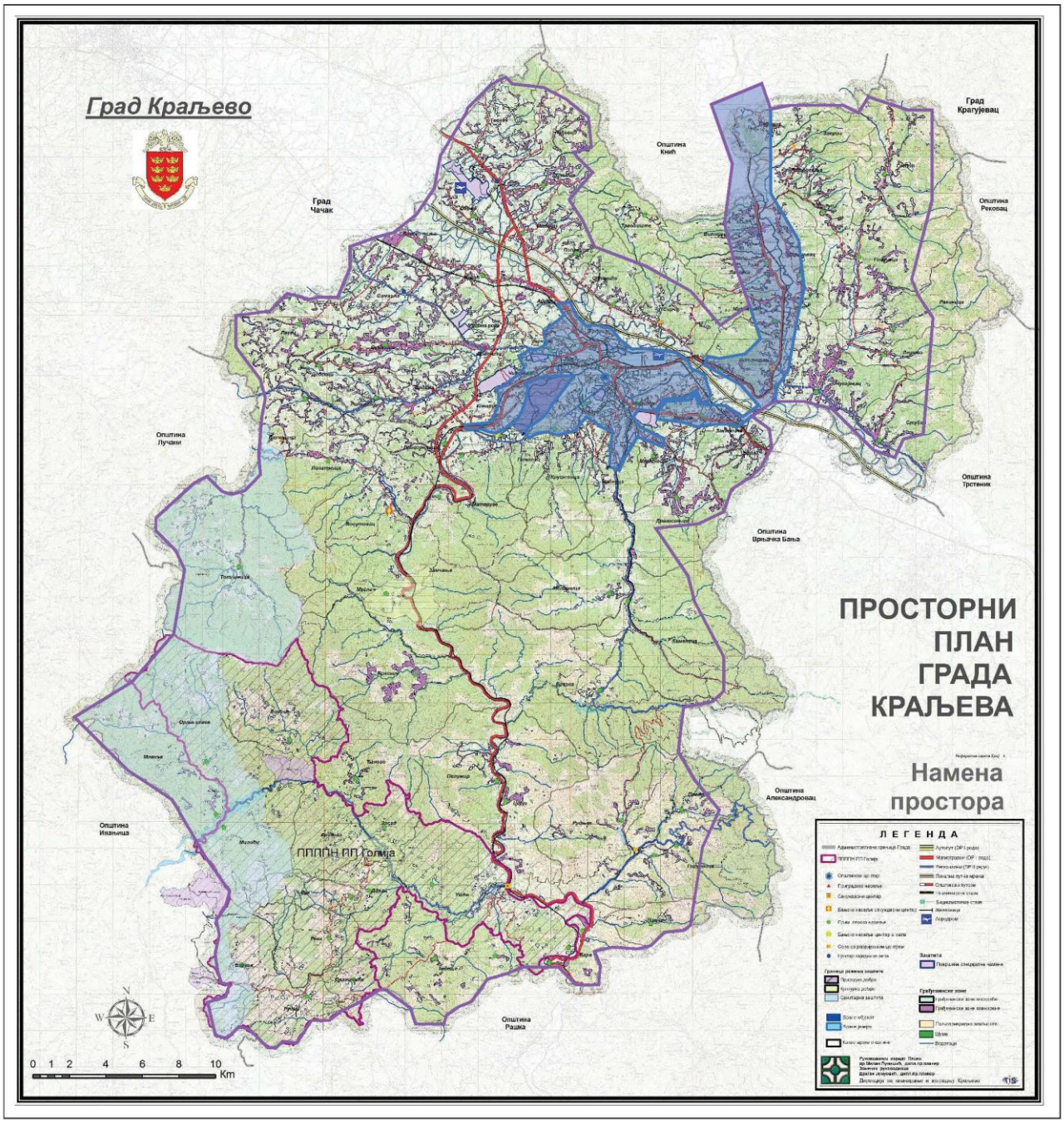
Регион/област	Период		
	2015	2016	2017
Република Србија	**83,8%**	**84,2%**	**84,8%**
Србија-Север	***94,6%***	***94,8%***	***95,2%***
Београдска област	94,2%	94,2%	94,3%
Западнобачка област	98,5%	98,5%	98,5%
Средњобанатска област	89,8%	90,6%	95,6%
Србија-Југ	***72,0%***	***72,6%***	***73,4%***
Златиборска област	72,1%	72,2%	74,6%
Поморавска област	68,4%	69,0%	71,1%

Неуједначеност у доступности водоснабдевања у Србији указује на потребу за улагањем у развој и модернизацију водоводне и канализационе инфраструктуре, посебно у руралним подручјима, како би се омогућила безбедност и здравље становништва. Успостављање равномерног система водоснабдевања на територији целе земље није само кључно за побољшање животног стандарда, већ и за испуњавање основних хигијенских и санитарних стандарда, што је предуслов за здравље и добробит грађана. Ово такође подразумева и потребу за већим укључивањем локалних власти и других надлежних институција у процесу развоја и континуираног одржавања инфраструктуре, као и у увођењу мера за заштиту водних ресурса, што је посебно важно у контексту глобалних климатских промена и све већег притиска на природне ресурсе.

[41] *Група аутора, Извештај о стању животне средине у Републици Србији за 2023. годину, Агенција за заштиту животне средине, Министарство заштите животне средине, Београд 2024.*
[42] *Републички завод за статистику, Еко-билтен, табела број 4.1.4., Београд, 2017.*

Према подацима из Средњорочног плана пословне стратегије и развоја од 2022-2026. године ЈКП-а „Водовод“ Краљево, грађани се питком водом снабдевају са четири изворишта који се налазе у приобаљу реке Ибар. Максимални капацитет изворишта износи око 410 l/s. Водоводни систем града Краљева, поред поменута четири изворишта, чини дистрибутивна водоводна мрежа са око 570 km цевовода као и резервоарски простор укупне запремине 5.000 m^3. Са 24.000 прикључака, око 70.000 грађана града Краљево су корисници овог система. Снабдевање водом се обавља у урбнаој зони, односно зони ГУП-а, са постепеним проширењем на периферне месне заједнице. Разрада појединих територија се врши планским документима[43]. У оквиру горе поменутог Средњерочног плана, на сликама 2.9 и 2.10 дат је ситуациони приказ територије града Краљева коју водом снабдева ЈКП „Водовод“ Краљево као и план проширења јавне водоводне мреже, која је у надлежности ЈКП-а „Водовод“ Краљево.

[43] *Средњерочни план пословне стартегије и развоја од 2022-2026. године ЈКП-а „Водовод“ Краљево, Краљево, септембар 2021. година*

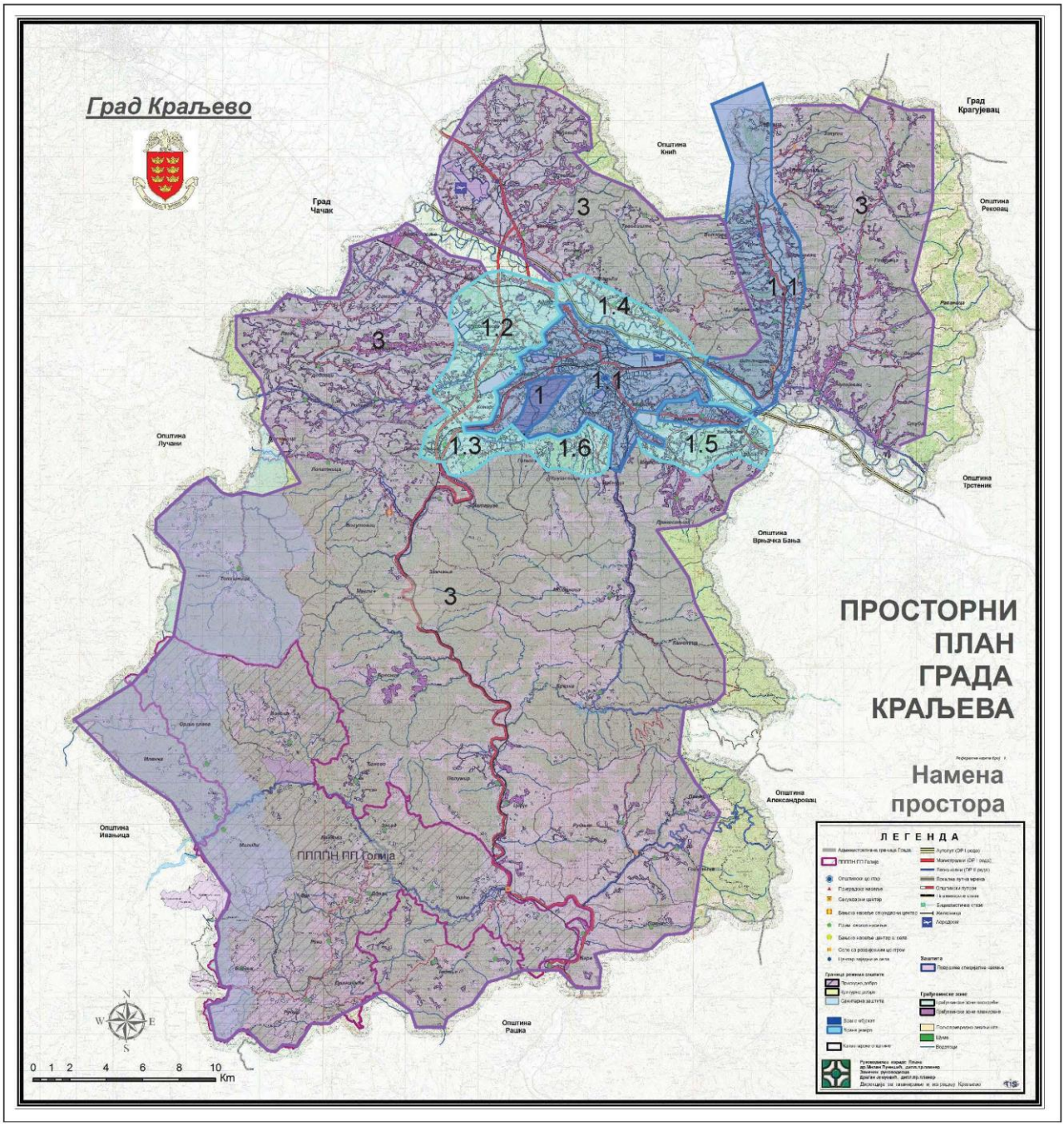


Слика 2.9: Ситуациони приказ области коју снабдева пијаћом водом ЈКП „Водовод“[44]

Хигијенска исправност воде се проверава редовним планским као и ванредним вршењем основних и периодичних анализа воде, у свему према важећој законској регулативи. План и програм узорковања и анализе воде врши овлашћена здравствена установа Завод за јавно здравље „Краљево“, дефинисано уговором. Законски прописи везани за квалитет воде за пиће и надзор над њиховим спровођењем је надлежност Министарства здравља Републике Србије. У току једне године изврши се приближно

[44] *Средњерочни план пословне стартегије и развоја од 2022-2026. године ЈКП-а „Водовод“ Краљево, Краљево, септембар 2021. година*

2000 прегледа воде на основну физичко – хемијску и бактериолошку анализу и осам прегледа воде на проширену (периодичну) анализу.



Слика 2.10: Ситуациони приказ проширења водоводне мреже: тамно плава боја – садашња област водоснабдевања; светло плава – план проширења садашње мреже; љубичаста – локални сеоски водоводи[45]

[45] *Средњерочни план пословне стартегије и развоја од 2022-2026. године ЈКП-а „Водовод“ Краљево, Краљево, септембар 2021. година*

Ситуација на руралном подручју, односно ван граница у оквиру којих је надлежност над водоснабдевањем поверена ЈКП „Водовод“ је у далеко лошијем стању.

Сеоски водоводи су углавном грађени без адекватне пројектно-техничке документације и потребних дозвола за градњу, као и без поштовања законске регулативе за ту врсту радова. У већини сеоских водовода не постоји систем за дезинфекцију воде. Чест је случај да и уколико постоје исти нису више у функцији, због дотрајалости и неодржавања. Овакво стање потврђује и анализа сеоских водовода на територији града Краљева, коју је урадио Одсек за заштиту животне средине Градске управе града Краљево. У извештају се уочава и постојање септичких јама у непосредној близини бунара и каптажа као постојање нехигијенских депонија. Имајући у воду речено, јасно је да су сеоски водоводни системи изузетно рањиви, те се тиме додатно наглашава потреба решавања отпадних воа у сеоским насељима.

До 2006. године контрола сеоских водовода је била у надлежности хигијенско-епидемиолошких служби - Завод за јавно здравље „Краљево“. У периоду док су обављали надзор над сеоским водоводима, сви контролисани сеоски водоводи су били заведени у картотеци и водила се редовна контрола стања исправности. Међутим, након укидања хигијенско-епидемиолошких служби активности над контролом сеоских водовода су значајно смањене. Обрадом анализираних узорака сеоских водовода, средње вредности са подручја централне Србије показују следеће[46]:

- висок проценат бактериолошки неисправних узорака (19–37%, у појединим окрузима чак 63%) и
- висок проценат неисправних узорака у физичко–хемијском погледу (15–25%, у појединим окрузима и до 50%).

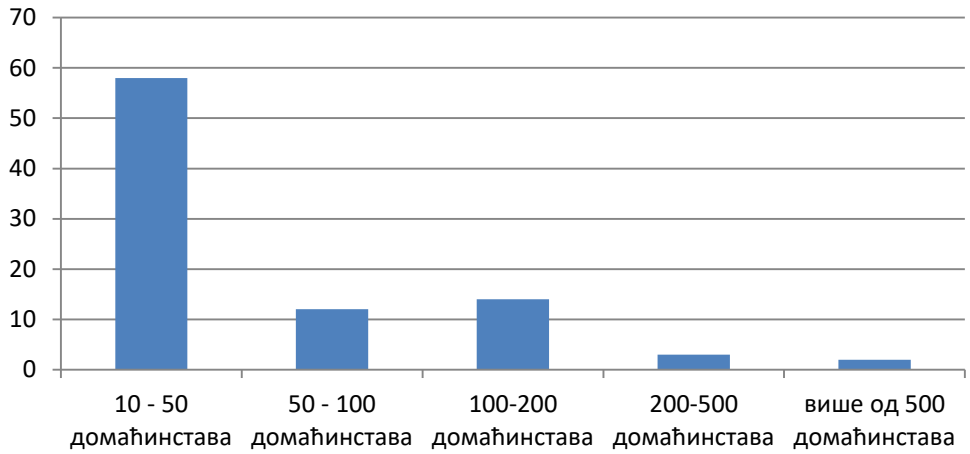
Најчешћи узрочници бактериолошке неисправности су аеробне мезофилне и колиформне бактерије најчешће фекалног порекла. Код физичко–хемијске неисправности истичу се: мутноћа, повећан утрошак KMnO4, повишене концентрације гвожђа, амонијака, нитрата, алуминијум, pH.

Град Краљево је 2014. године донео одлуку о изради Акционог плана за решавање питања водоснабдевања на територији града Карљева за период 2014-2019. година. Аналозирајући податке који су прикупљени у оквиру поменутог Акционог плана, констатује се да на подручју града Краљева постоји око 1300 објеката водоснабдевања који снабдевају више од 5 домаћинстава, односно најмање 20 корисника водом за пиће, од чега је око 300 значајнијег капацитета и обима снабдевања корисника. Поштујући дефиницију јавног водовода који је дат у Закону о водама, у Краљеву постоји око 130 сеоских водовода, ван контроел ЈКП-а „Водовод“ Краљево. На основу расположивих података, извршена је анализа 90 већих сеоских водовода у погледу насеља и броја домаћинстава која се снабдевају са истих, стању техничке документације, врсти

[46]*Група аутора, Записник о извршеном прегледу лоалног водовода, (укупно 84 записника), Акциони план за решавање питања водоснабдевања града Краљева, Краљево 2015.*

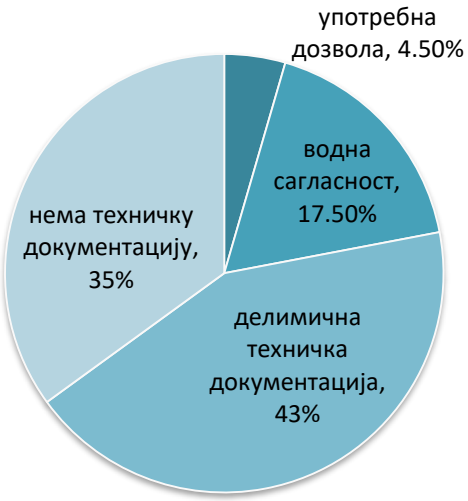
изворишта и постојању зона санитарне заштите. Према броју прикључених домаћинстава сеоске водоводе можемо груписати на следеће категорије:

- 58 сеоских водовода снабдева између 10 и 50 домаћинстава,
- 12 сеоских водовода снабдева између 50 и 100 домаћинстава,
- 14 сеоских водовода снабдева између 100 и 200 домаћинстава,
- 4 сеоска водовода снабдева између 200 и 500 домаћинстава,
- 1 сеоски водовод снабдева око 800 домаћинстава и
- 1 сеоски водовод снабдева око 900 домаћинстава.



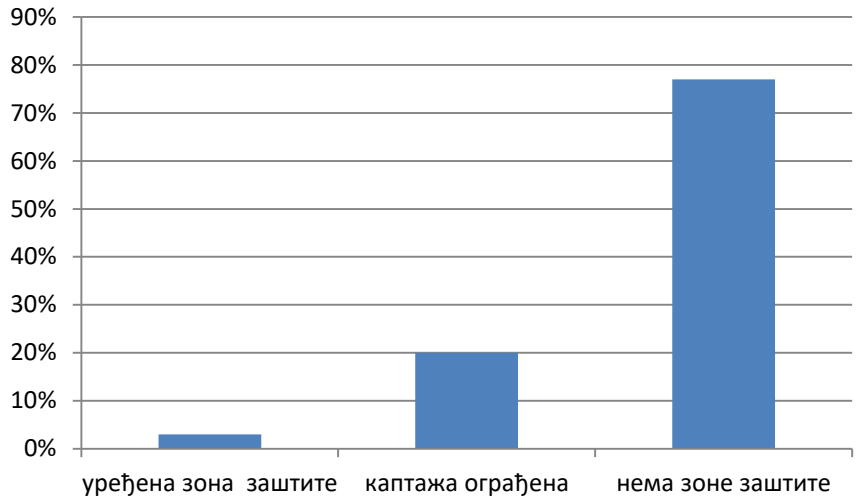
Слика 2.11: Приказ броја домаћинстава који се снабдевају са сеоских водовода на територији града Краљева

Од анализираних 90 водовода, уочава се да само 4 водовода (4,5%) имају употребну дозволу, 16 водовода (17,5%) има водну сагласност, а 39 водовода (43%) има неки ниво техничке документације, слика 2.12.



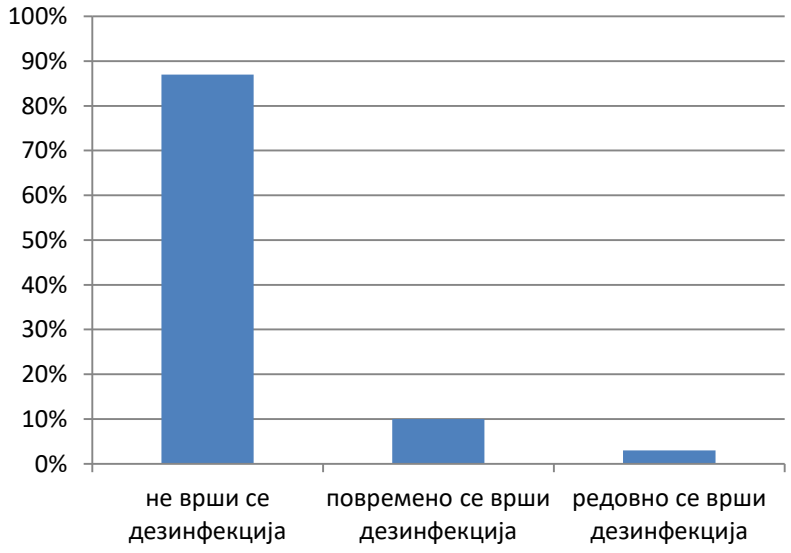
Слика 2.12: Сеоски водоводи са употребном дозволом на територији града Краљева

Када говоримо о зонама санитарне заштите, уочава се да само 3 водовода (3%) има уређену зону санитарне заштите, те да 18 водовода (20%) има ограду око каптаже – делимично уређену зону санитарне заштите, а да 69 водовода (77%) нема никакву зону заштите изворишта (слика 2.13).



Слика 2.13: Зона заштите код сесоких водовода

Разматрајући стање сеоских водовода кад је у питању дезинфекција воде, уочава се да се код 79 водовода (87%) без обзира да ли поседују уређаје за дезинфекцију, не врши дезинфекција, док се код 9 сеоских водовода дезинфекција врши повремено (углавном ручно), а код 2 водовода је успостављена редовна дезинфекција и контрола (слика 2.14).



Слика 2.14: Степен спровођења мера дезинфекције сесоких водовода

Сеоски водоводи су грађени, углавном, сопственим средствима грађана, без или са малим учешћем локалне самоуправе, што је довело до чињенице да се сматрају као власништво грађана са наведеног подручја.

Највећи број сеоских водовода изграђен је пре више десетина година, а како је у протеклом периоду изостало инвестиционо одржавање, значајно је утицало на њихово стање дотрајалости и руинираности. Разлог за њихово дотрајало и руинирано стање можемо пронаћи у нестручном управљању објектима и мрежом водоснабдевања. Сеоским водоводима управљају МЗ или групе грађана, које немају потребне стручне ни техничке капацитете за обављање делатности водоснабдевања, не располажу потребним финансијским средствима за управљање, нити се на системима од стране стручног лица обављају редовни послови дезинфекције воде. Такође, уочава се да је након 2009. годинеизостао редован систематски мониторинг над хигијенском исправношћу воде за пиће, што нам отежава процену њихове исправности. У највећем броју МЗ грађани не плаћају услугу водоснабдевања, а са друге стране МЗ немају инструменте наплате за испоручену воду.

У периоду до 2009. године, у складу са Законом о заштити животне средине ("Сл.гласник РС", бр. 135/04), локална самоуправа је спроводила активности праћења стања животне средине и за области заштите сеоских вода. У периоду до 2009. године послове санитарно-хигијенске контроле воде за пиће град Краљево је поверио Заводу за јавно здравље „Краљево“. Спроводила се контрола квалитета воде са сеоских водовода, као и контрола квалитета индивидуалних бунара и чесми које служе за алтернативно водоснабдевање.

У складу са расположивом документацијом о контроли воде са сеоских водовода (2009. година) сагледавајући резултате микробиолошке анализе уочава се да је од узетих 80 узорака (20 сеоских водовода са по 4 анализе са сваког водовода) 28,75% узорака је показало микробиолошку несправност. Гледајући по анализираним водоводима, на 10 од 20 анализираних водовода (50%) је идентификована микробиолошка неисправност. Седамнаест узорака је садржало аеробне мезофилне бактерије преко дозвољеног броја, 23 узорака је садржало колиформне фекалне бактерије, док је 9 узорака садржало стрептококе фекалног порекла.

Кад је у питању хемијска исправност уочава се да је на једном изворишту био повећан уторшак $KMnO4$, да су два узорка садржали амонијак преко дозвољене концентрације, један узорак је садржао гвожђе у концентрацији већој од дозвољене, док су четири узорка садржали магнезијум у већој концентацији од дозвољене.

Стање сеоских водовода тренутно није могуће сагледати са аспекта хемијске и микробилошке исправности, због изостанка систематске контроле.

Град Краљево је у претходном периоду препознао проблем неадекватног управљања сеоским водоводима и у циљу решавања овог проблема 2015. године је усвојен „Акциони план за решавање питања водоснабдевања града Краљева“, којим су

дефинисани основни правци ка успостављању одрживог модела. Као једна од првих активности спроведен је комисијски преглед око 130 сеоских водовода. Комисија је извршила процену стања са предлогом мера и проценом трошкова. У табели број 2.5. је дат преглед сеоских водовода са преко сто корисника.

Табела 2.8: Преглед сеоских водовода на територији града Краљева са преко 100 корисника[47]

МЗ	Назив водовода	Број корисника	Год. изградње	Документ ација	Грађ. дозвола	Изворište	Зоне санит. заштите	Резервоар	Дистрибут. мрежа	Дезинфекција	Мерење испоручене воде и наплата
Богутовац	Рисовац	182	1985.	ДА	НЕ	Каптажа 11 l/s	НЕ	2 x 30 m3	17,5 km	НЕ	Мери се и наплаћује
Лазац	Мала 1 Качулице	153	1973.	НЕ	НЕ	Каптажа	НЕ	90 m3	3 km	НЕ	Не мери се али постоје водомери у двориштима корисника
Лазац	Рајков точак	168	1972-1973.	НЕ	НЕ	Копани бунар 13 m бушени бунар 100 m	НЕ	/	/	Има уређај за хлорисање, не користи се	Не мери се
Лазац	Јастребар	305	1973-2006.	ДА Пројекат изведеног стања	Водна дозвола издата 1978.	Каптиран извор – 7 мањих каптажа	Делимично, ограђен жичаном оградом	2x45m3	120 km	Има уређај за хлорисање, не користи се	Мери се и наплаћује
Адрани	Бубан	903	1977.	ДА	НЕ	Бунар од бетонских прстенова дубине 9 m	Делимично, ограђен жичаном оградом	180 m3	21 km	Има уређај за хлорисање, не користи се	Не мери се

[47] *Група аутора, Записник о извршеном прегледу лоалног водовода, (укупно 84 записника), Акциони план за решавање питања водоснабдевања града Краљева, Краљево 2015.*

Тавник	Тавник	169	1983.	ДА	НЕ	Бунар 15m	жичана ограда	3 резервоара 1430 m3	8 km	ДА	Мери се и наплаћује
Лађевци	Лађевци Цветке	298	1968.	Пројекат легализације	НЕ	Бунар 5,4m	жичана ограда	50 m3	8 km	Има уређај за хлорисање, повремено се користи	Мери се и наплаћује
Милочај	Водовод 1	144	1963.	НЕ	НЕ	Копани бунар дубине 9m	жичана ограда	50 m3	22 km	НЕ	Мери се и наплаћује
Милочај	Водовод 2	135	1972.	НЕ	НЕ	Копани бунар 9m	жичана ограда	50 m3	5 km	НЕ	Мери се и наплаћује
Милочај	Топлик	801	1968.	ДА	ДА	Каптажа и 3 бунара	жичана ограда	2 резервоара 300 m3	/	НЕ	НЕ
Годачица	Врело Брзак	122	1968.	НЕ	Водн сагласно стст из 1987.	Каптиран извор	НЕ	6 резервоара 30 m3	15 km	НЕ	НЕ
Драгосињци	Врело	163	1964.	ДА	НЕ	Каптажа 185 l/min пре земљотрса сада 110	НЕ	резервоар 33м3 резервоар 2х40 m3	9 km	Има уређај за хлорисање, повремено се користи	Наплаћује се паушално

Драгосињци	Драгосињци	150	1978.	ДА	НЕ	2 каптаже 40+38 l/min	НЕ	15 m3	2,5 km	НЕ	НЕ
Драгосињци	Видосаве	400	1939. 1965. 1981.	ДА	ДА	7 каптажа	ДА	4 резервоара укупно 405 m3	13 km	Има уређај за хлорисање, повремено се користи	Мери се и наплаћује
Гоч	Гоч Дечије одмаралиште	140	1970.	НЕ	НЕ	Каптажа	НЕ	16 m3	0,5 km	ДА	НЕ
Гоч	Гоч Добре воде	130	1997.	НЕ	НЕ	2 каптаже 34 l/min	НЕ	34 m3	0,2 km	ДА	НЕ
Гоч	Гоч Наставна база	162	1980.	ДА	ДА	7 каптажа	НЕ	40 m3	1,2 km	ДА	НЕ
Рибница	Беле воде	150	1982.	ДА	водна сагласност	6 каптажа, издашност 75 l/min	НЕ	4 резервоара 110 m3	9 km	НЕ	НЕ
Јовац	Врело Беранова ЦЈовац	240	1968.	ДА	ДА	2 бетонске каптаже 120 l/min	ДА	162 m3	7 km	Има уређај за хлорисање, повремено се користи	Наплата се врши паушално

Тепечи	Тепечи	125	1980.	НЕ	НЕ	Каптажа 230 l/min	НЕ	30 m3	20 km	НЕ	НЕ

Закључци о стању водоснабдевња у Краљеву

- Око 85.000 грађана града Краљева (68%) се снабдева водом за пиће преко централног - градског водоводног система;
- 40.000 становништва (32%) се снабдева водом са сеоских водовода или других индивидуалних извора;
- 78% сеоских водовода грађено без или са делимичном техничком документацијом;
- 95% сеоских водовода не поседује потребне дозволе за јавно водоснабдевање;
- 77% сеоских водовода нема никакав степен заштите;
- 87% сеоских водовода нема редовну дезинфекцију воде, а само 2% има успостављену редовна дезинфекција и контрола квалитета воде;
- Најчешћи узрок неисправнсоти воде за пиће, сеоских водовода су присуство колиформних фекланих бактерија.

Каналисање употребљених вода града Краљева

Сакупљање отпадних вода организовано је на територији уже градске зоне града Краљева, као и у појединим приградским насељима. Канализациони систем града Краљева је сепаратни. Фекални каанализациони систем има три главна – примарна колектора

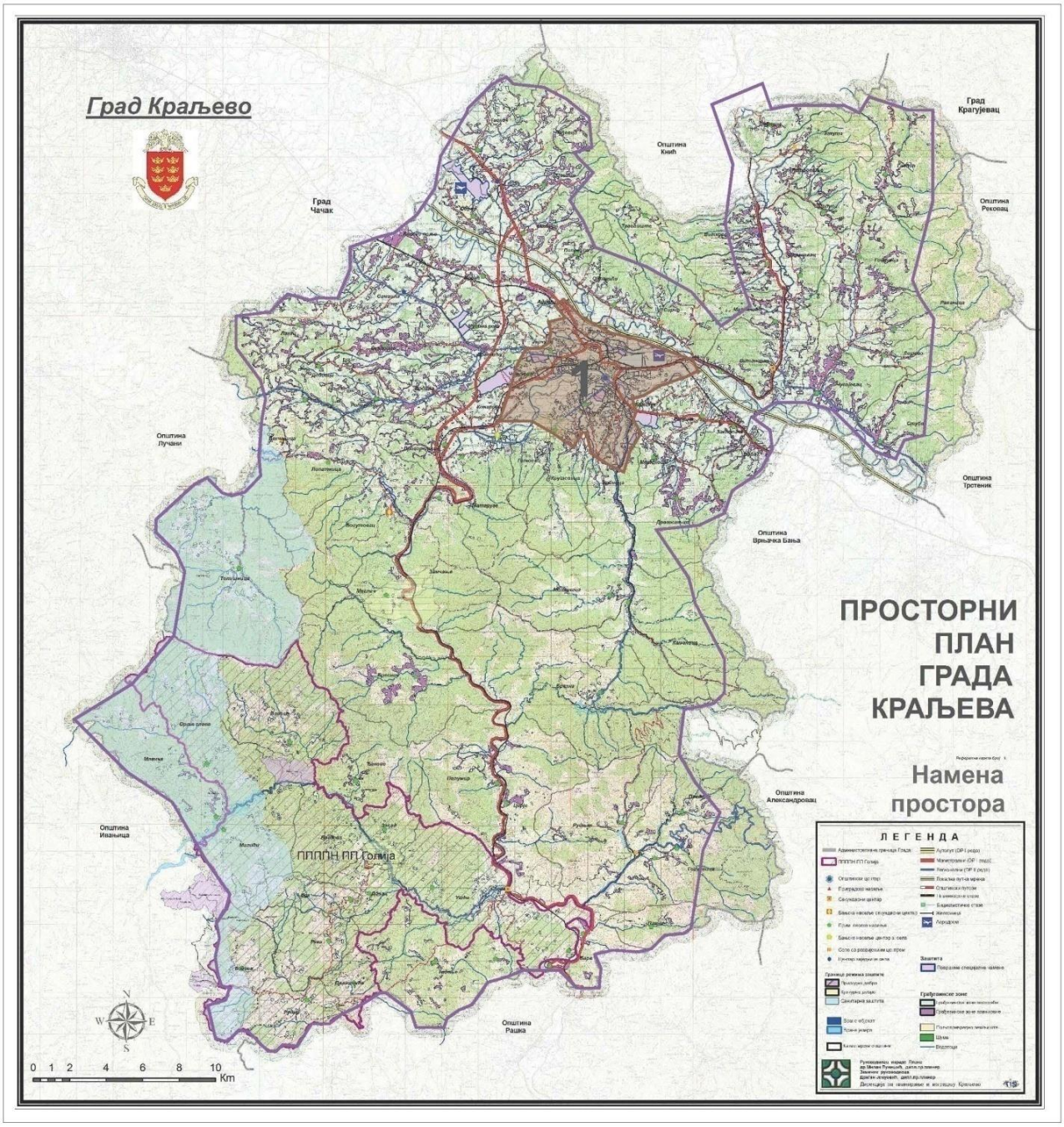
Фекални канализациони систем, града Краљево, концепцирана је у три главна колектора (северни, јужни и централни кроз ужу градску зону), пет црпних станица за препумпавање и постројење за пречишћавање отпадних вода које има само примарни ниво третмана отпадних вода, односно само физички третман. Канализациони систем града Краљева је изграђен је сепаратног типа, односно постоје засебни колектори за прикупљање и одвођење отпадних (употребљених вода) и атмосферских вода. У табели 2.9 је дат приказ покривености канализационом мрежом на основу доступних података у ЈКП „Водовод“ Краљево као и постојећих планских докумената. У оквиру Средњерочног плана пословне стратегије и развоја од 2022 – 2026. године ЈКП „Водовод“ Краљево, на слици 2.15 дат је ситуациони приказ територије града Краљева са које отпадну воду прикупља и пречишћава ЈКП „Водовод“ Краљево. На слици 2.16 је дат ситуациони приказ атмосферске канализационе мреже града Краљева.

Табела 2.9: Покривеност насеља, системом за отвођење отпадних вода[48]

Р.Б.	МЕСТО	Број становника	Покривеност канализационом мрежом (%)
1.	Краљево	64.920	90%
2.	Жича	5.050	70%
3.	Конарево	3.865	60% - у току проширење мреже
4.	Рибница	1.659	90%
5.	Чибуковац	1.365	80%

[48] *Средњерочни план пословне стартегије и развоја од 2022-2026. године ЈКП-а „Водовод“ Краљево, Краљево, септембар 2021. година*

6.	Кованлук	2.321	70% - није прикључено на ППОВ
7.	Ковачи	1.280	80%
8.	Грдица	829	85%
9.	Адрани	2.263	70%
10.	Јарчујак	794	85%
11.	Ратина	3.285	70% - није прикључено на ППОВ
12.	Драгосињци	675	План –до 2026. год.
13.	Метикоши	741	План –до 2026. год.
14.	Матарушка Бања	2.691	90 % - није прикључено на ППОВ
15.	Матаруге	451	90 % - није прикључено на ППОВ

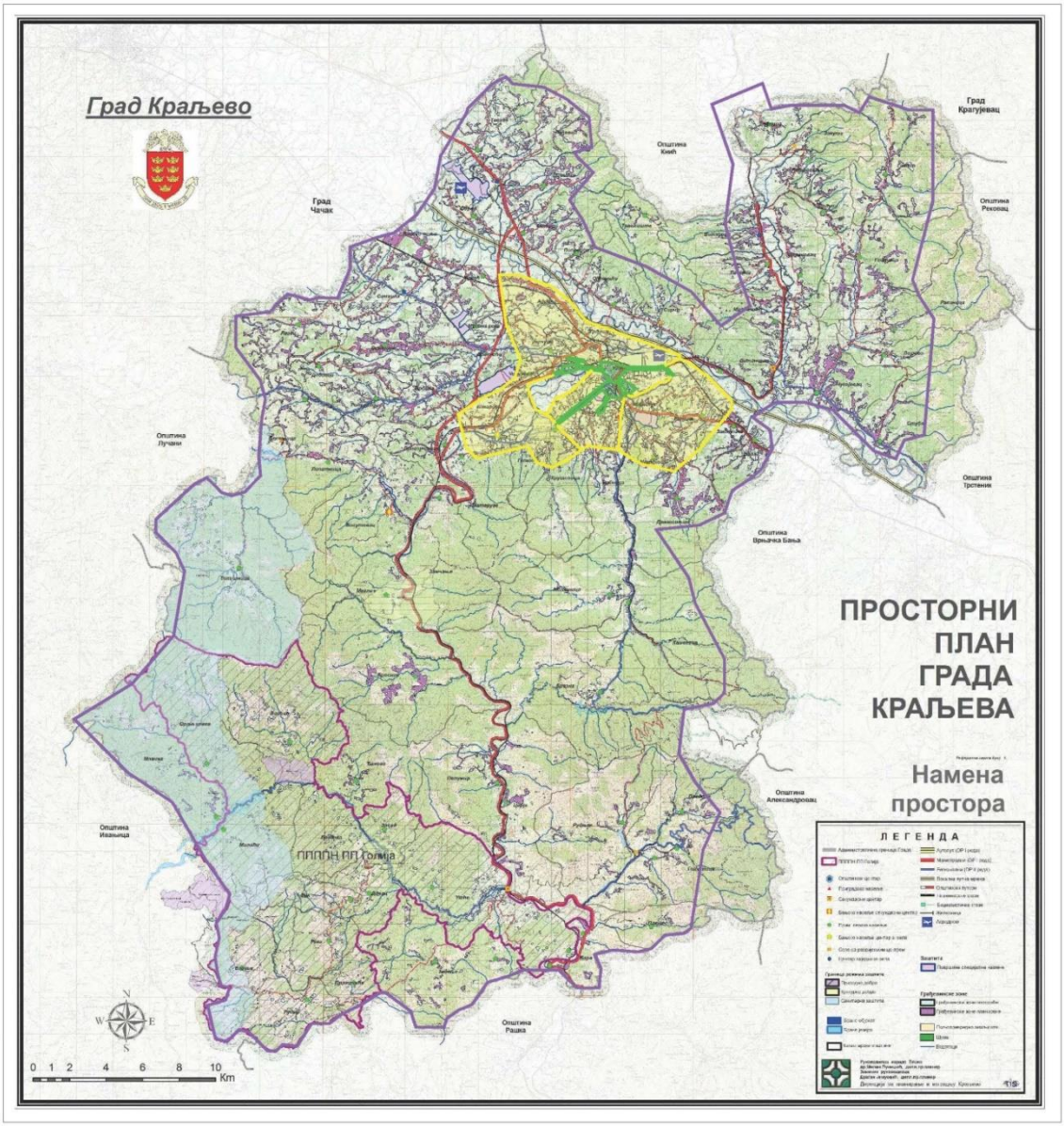


Слика 2.15: Ситуациони приказ области града Краљева, са које одводи и третира фекалну воду ЈКП „Водовод“[49]

За урбанизован део града Краљева, као и део насеља наведен у табели 9. третман отпадних вода се врши на горе поменутом централном конвенционалном постројењу, капацитета 2x160.000 ЕС. Постројење је лоцирано низводно од града на левој обали реке Ибар, на непосредном ушћу реке Ибар у Западну Мораву. Третирање отпадне воде се своди само на механичко; грубе и фине решетке, одвајачи масти и уља, аерисани песколов са мамут пумпом и силосом. Сам механички третман не даје захтеване

[49] *Средњерочни план пословне стартегије и развоја од 2022-2026. године ЈКП-а „Водовод“ Краљево, Краљево, септембар 2021. година*

резултате третмна отпадних вода, а што је евидентно кроз анализу БПК и суспендованих материја. У оквиру инструмента за предпсриступну помоћ ИПА 2017, град Краљево је искористио могућност, те након припеме потребне докуемнтације и аплицирања обезбедио средства за изградњу новог, савременог постројења за пречишћавање отпадних вода за урбани део града. У току је реализација пројекта изградње новог постројења за третман отпадних вода, које ће у првој фази бити изграђено са секундарним нивоом третмана, капацитета 90.000 ЕС. У другој фази је предвиђено проширење капацитета до 120.000 ЕС као и изградња терцијалног нивоа третмана отпадних вода.



Слика 2.16: Ситуациони приказ атмосферске канализационе мреже - постојеће стање зелена боја и потребно проширење жута боја[50]

[50] *Средњерочни план пословне стартегије и развоја од 2022-2026. године ЈКП-а „Водовод“ Краљево, Краљево, септембар 2021. година*

Град Краљево је 2013. године усвојио Стратегију сакупљања, одвођења и пречишћавања отпадних вода са територије града Краљева[51]. Циљ израде стратегије је достизање одрживог управљања водним ресурсима ите квалитета површинских и подземних вода као и извора водоснабдевања. Поменутом стратегијом су разматрана сва насеља на територији града Краљева, те сходно природном гравитирању ка једном од пет сливова (Западна Морава, Ибар, Гружа, Студеница и Лопатница) цео град издељен на шест подсистема.

Стратегијом је извршена анализа постојећег стања начина решавања прикупљања и третмана отпадних вода у сваком насељу. Увидом у податке изнете у поменутој Стратегији, као и увидом у документацију градске управе града Краљева, на сеоском подручју града Краљева постоји око 15 изграђених канализационих мрежа без потребног третмана отпадних вода. На руралном подручју, проблем одвођења отпадних вода углавном решаван индивидуално, углавном изградњом септичких јама са неконтролисаним изливањем/преливањем или постоји изграђена мања колекторска мрежа за групу објеката, кластер типа, али без адкеватног третмана отпадних вода, односно са изливом или у неки постојећи водени ток. Такође, оно што је уочено радом на самом терену је честа појава малог растојања, мањег од 15 m, између бунара и септичких јама, што представља директну опасност на загађење водених површина и на људско здравље.

2.5 Закључна разматрања

Анализом утицаја отпадних вода на квалитет вода и здравље становништва, узимајући у обзир тренутно стање у Србији, а посебно у граду Краљеву, указује се на главне проблеме у области прикупљања и третмана отпадних вода. Основни узрок ове ситуације је недовољна развијеност канализационог система и адекватних постројења за третман отпадних вода, као и недостатак еколошке свести донелаца одлука на локалном нивоу. У циљу решавања ових проблема, могу се идентификовати следећи недостаци:

- Недостатак свести и знања о последицама непречишћавања отпадних вода на животну средину и здравље човека;
- Недовољан кадровски капацитет за пројектовање, изградњу и одржавање система за третман отпадних вода;
- Недостатак финансијских средстава за изградњу или реконструкцију инфраструктуре;
- Недостатак планске и пројектно-техничке документације која је неопходна за ефективну реализацију пројеката;
- Недостатак адекватног законодавног оквира за примену иновативних решења (постоје законски оквири, али се не примењују због недостатка свести и финансијских ресурса);

[51] *Стратегија одвођења и третмана отпадних вода општите Краљево, Краљево, октобар 2007. година*

- Недостатак политичке воље за решавање овог проблема код особа на одлучујућим функцијама.

На основу свега горе датог, може се закључити да имамо изузетнбо лоше стање у области третмана отпадних вода, док у руралним срединама третмана отпадних вода готово нема. Са друге стране, Србија као предприступна земља Европске уније има обавезу да спроведе примену Директиве о третману комуналних отпадних вода.

У урбаним подручјима где се проблем пречишћавања отпадних вода решава изградњом централних система третмана отпадних вода, за чију изградњу као и касније одржавање су потребна знатана финансијска средства, јасно је, да ће за достизање циљева у пречишћавању комуналних вода морати да преовладавају донаторска средства, пре свега од стране Европске Уније, при чему је обавеза локалних самоуправа да припреми потребан ниво пројектне документације уз решавање имовинско-правних услова, јер је то услов за аплицирање и прибављање средстава било код домаћих или код иностраних извора финанасирања.

Када говоримо о руралним срединама, јасно је да уз обеђивање потребних финанасија, потребно радити на подизању еколошке свести код свих грађана, посебно код људи који доносе одлуке на спремност да упусте у решавање ових проблема као и спремност самих крајњих корисника да се активно укључе у решавање овог проблема.

Комунална хидротехничка инфраструктура је далеко мање развијана у протеклом периоду у односу на саобраћајну. Тако, да је тренутно стање у руралним срединама такво да не постоји уређен јавни водоводни систем, који омогућава континуално и квалитетно снабдевање водом за пиће, а уз то су извори водоснабдевања додатно угрожени непостојањем адекватних система сакупљања, одвођења и третмана отпадних вода. Отпадне воде се изливају у најближе канале, потоке или неодговарајуће септичке јаме, чиме се додатно угрожавају постојећи сеоски водоводни системи.

Како је заштита квалитета вода најзапуштенија област у сектору вода, значајна инвестициона средства морају у непосредној будућности бити ангажована у област прикупљања, одвођења и пречишћавања отпадних вода.

Поглавље 3: ДОСТУПНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ ЗА ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАН ТРЕТМАН ОТПАДНИХ ВОДА

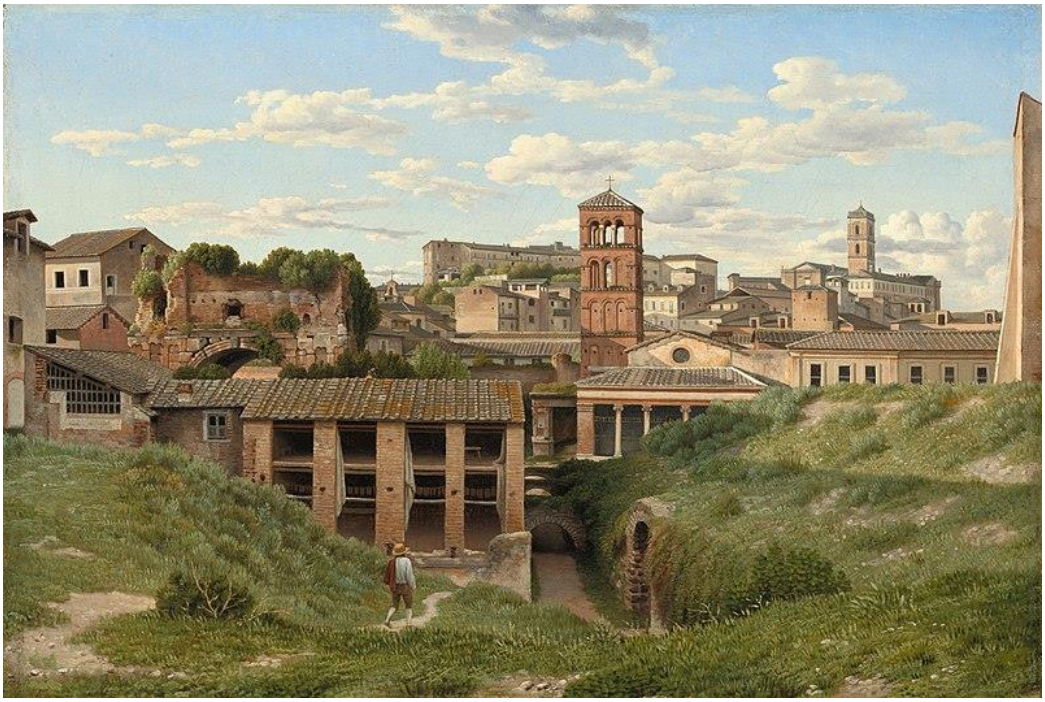
3.1 Почеци и развој каналисања насеља

Проблем одвођења фекалних вода и каналисање насеља представља један од основних технолошких изазова с којима су се сусреле и решавале прве људске цивилизације. Иако постоји велики број сачуваних историјских извора који документују напоре старих цивилизација у различитим областима живота, на жалост, значајан број тих докумената не бави се детаљније развојем канализационих система, што указује на тешкоће у археолошким и историографским истраживањима ових аспеката.

Упркос недостатку детаљних историјских докумената, археолошка истраживања су омогућила дубљи увид у начине решавања проблема одвођења отпадних вода у антици. Један од најзначајнијих примера представља откриће цивилизације Мохењо-Даро, које је обављено током тридесетих и четрдесетих година 20. века у области данашњег Пакистана, у близини реке Индус. Мохењо-Даро, које се развијало око 1500. године пре нове ере, представља изузетан пример развијеног хигијенског система који је обухватао не само одвођење фекалних вода, већ и интеграцију ових система у шире урбанистичке структуре. У овој цивилизацији сваки стамбени објекат био је опремљен приватним тоалетом, а отпадне воде су кроз канализационе канале, који су се налазили дуж улица, одвођене према реци Индус. Овај систем је представљао напредак за своје време, јер је у великој мери смањивао ризик од контаминације воде и болести.

Међутим, Мохењо-Даро није био једини пример развијених система одвођења отпадних вода. Многе друге древне цивилизације, попут Месопотамије и Египта, развијале су сличне методе управљања отпадним водама. У древном Риму, један од најзначајнијих примера у историји инжењерства и урбанистике представља Cloaca Maxima, највећа канализација која је била део римског система одвођења отпадних вода[52]. Изграђена око 600. године пре нове ере, ова канализација била је централни елемент римске инфраструктуре и коришћена је више од пет векова, све до краја западног Римског царства. Cloaca Maxima (слика 3.1) је представљала инжењерски врхунац старог света и као такав је уједно била претеча савремених канализационих система, јер је омогућавала сакупљање и одвођење отпадних вода на начин који је минимизирао ризик од хигијенских проблема и одржавао градску чистоћу.

[52] *Saller, R. P., Patriarchy, Property, and Death in the Roman Family. Cambridge University Press, 1994.*



Слика 3.1: Поглед на део Cloaca Maxime[53]

Мрачни санитарни период људске цивилизације започео је са падом Римског царства, што је имало дубоке последице по развој инфраструктуре, укључујући и системе за одвођење фекалних и отпадних вода. Током средњег века, који обухвата период од 450. до 1750. године нове ере, Европа је искусила велике промене које су довеле до значајног назадовања у свим областима живота[54]. Са доласком варвара, који су рушили римску инфраструктуру, и падом дотадашњих монархија, дошло је до деградације урбанистичких и хигијенских стандарда. У овом периоду, решавање проблема отпадних вода било је изузетно примитивно – отпадне воде су се често избацивале кроз прозоре стамбених објеката директно на улице, што је доводило до ширења нечистоћа по насељима. Такво неодговарајуће управљање отпадним водама често је доводило до њиховог контакта са изворима питке воде, што је представљало велики ризик по јавну здравствену ситуацију.

Недостатак хигијенских услова, у комбинацији са наглим порастом броја становника у градовима и развојем индустрије, довео је до избијања бројних болести и епидемија. Болести као што су тифус и колера, које су се лако преносиле путем контаминираних вода, односиле су велики број људских жртава, чинећи санитарну ситуацију у градовима изузетно тешком[55] (слика 3.2). У овим условима, појавио се

[53] *Википедија: Christoffer Wilhelm Eckersberg: View of the Cloaca Maxima, Rome* https://sh.m.wikipedia.org/wiki/Datoteka:View_of_the_Cloaca_Maxima_Rome_1814.jpg
[54] *Tannahill, R. Food and the Status of Women in the Ancient World. Harper & Row, 1992.*
[55] *Ackerknecht, E. H., A Short History of Medicine. The Johns Hopkins University Press, 1982.*

притисак за поновно решавање проблема адекватне санитарне инфраструктуре, како у погледу водоснабдевања тако и у погледу одвођења отпадних вода[56].

Ситуација се постепено почиње да мења током 17. и 18. века, те све више разматрају нови приступи у контексту урбанистичког планирања и хигијенских стандарда[57]. Развој науке, технике и инжењерства отвара врата за прве озбиљније напоре у изградњи канализационих система који ће одговарати потребама растућих градова. У овом периоду, почињу се изградити први јавни канализациони системи, који су били важан корак ка модернизацији урбаног живота и побољшању јавног здравља. Увођење нових хигијенских мера и побољшање санитарних услова било је кључно за сузбијање епидемија и осигуравање здравља становништва, а уједно је представљало и основ за будући развој савремених система за управљање отпадним водама.

Проблем одвођења фекалних вода из објеката током различитих историјских периода решаван је различитим методама, међу којима су септичке јаме биле једно од најчешћих решења. Међутим, ова решења нису била идеална, јер су септичке јаме неретко постављане у непосредној близини бунара питке воде, што је често доводило до загађења подземних вода и земљишта. Такав нехигијенски начин управљања отпадним водама био је један од кључних фактора који су доводили до избијања епидемија заразних болести, као што су тифус и колера.

Како се већина градова развијала у непосредној близини водених површина, проблем одвођења отпадних вода поново је решаван изградњом канала који су фекалне воде, заједно са атмосферским водама, одводили у отворене водене токове. Ови канали су омогућавали неко привремено решење, али нису могли да обезбеде дугорочну безбедност у погледу санитарних услова, јер је вода из ових токова често била контаминирана и могла да се врати у круг употребе.

Тек током последње четвртине 19. века, од око 1880. године, широм Европе започела је изградња првих комплетних канализационих система. Ови системи су представљали значајан корак ка модернизацији градова и увођењу напредних хигијенских мера које су имале за циљ побољшање јавног здравља[58]. Стварање ових канала било је део ширег покрета индустријализације и урбанизације, који су изисквали побољшање санитарних услова како би се спречиле епидемије и осигурао здравији животни простор за растуће градске популације.

---

[56] *McNeill, J. R., Something New Under the Sun: An Environmental History of the Twentieth-Century World. W.W. Norton & Company, 2000.*
[57] *Hughes, J., The Great Pox: The French Disease in Renaissance Europe. Yale University Press, 2000.*
[58] Graham, M. W., The History of Sanitation in Western Society. McFarland, 2003.

Средином 19. века, са појавом епидемије колере у Енглеској, која је била директна последица загађења извора питке воде фекалним водама, настала је потреба за увођењем обавезе да сви тоалети буду повезани на канализационе колекторе. Ови колектори су били дизајнирани да одводе употребљену воду заједно са атмосферском водом директно у водене токове. У то време, постојало је широко прихваћено уверење да се проблем загађења може решити разблаживањем воде у отвореним воденим токовима. Међутим, брзо се показало да ова стратегија није довољна, јер је довела до загађења самих водених токова, што је допринело наставку ширења заразних болести.

Први озбиљни покушај третмана отпадних вода датира из 1890. године, када је у Ворчестеру, у држави Масачусетс у Сједињеним Америчким Државама, примењен хемијски поступак за пречишћавање отпадних вода. Овај период је означио почетак систематског приступа третману отпадних вода, али се прави напредак у решавању проблема загађења постигао тек након Другог светског рата[59]. Са убрзаном урбанизацијом и индустријализацијом, велики градови су се суочили са све већим изазовима у погледу управљања отпадним водама.

У овом контексту, важно је напоменути да је усвајање одговарајуће законске регулативе и стандарда у области третмана отпадних вода постало кључно за успешно управљање овим проблемом. Да би се успоставила чвршћа међународна сарадња и координација у овом домену, 1947. године основана је Међународна асоцијација за водоснабдевање (International Association for Water Supply). Поред тога, са циљем да се уједине регулативе и стандарди за квалитет воде, 1965. године ова асоцијација трансформисана је у Међународну водну асоцијацију (IWA – International Water Association), која данас игра кључну улогу у глобалном управљању водним ресурсима и унапређењу третмана отпадних вода[60].

3.2 Доступне технологије

Са открићем микроорганизама и њиховим утицајем на живот и здравље људи, као и њихову околину, започела је нова ера развоја човечанства, која је донела и повећану свест о значају хигијенских услова живота. Ова сазнања су омогућила дубље разумевање везе између микробиолошке контаминације и јавног здравља, што је довело до побољшања санитарних стандарда и система управљања отпадним водама.

Један од првих облика третмана отпадних вода је прикупљање фекалних вода у подземне таложнике – септичке јаме. Настанак септичких јама се везује за 1860. годину када је, потпуно случајно, John Mouras, у Француској, изградио јаму за одлагање отпадних вода. Након провере стања јаме, установљено је да је она скоро потпуно испражњена, што је довело до ширења овог метода као решења за управљање отпадним водама. Овај систем се брзо развио, а посебно је постао популаран током

[59] McNeill, J. R.,Something New Under the Sun: An Environmental History of the Twentieth-Century World. W.W. Norton & Company, 2000.
[60]*Good Practices for Regulating Wastewater Treatment: Legislation, Policies and Standards, The UNEP Global Wastewater Initiative in collaboration with WaterLex ISBN: 978-92-807-3474-4*

Другог светског рата. Данас, септичке јаме представљају најчешћи начин решавања проблема отпадних вода у руралним насељима, где не постоји изграђена колекторска мрежа. У Србији, око 90% објеката у руралним подручјима користи септичке јаме као основни метод за обраду отпадних вода. У неким случајевима, након каналисања насеља, отпадне воде су коришћене за наводњавање и прехрану пољопривредних земљишта.

Са технолошким развојем, уз подизење еколошке свести, долази до развоја низа различитих технологија за третман отпадних вода, са циљем достизања што већег степена пречишћавања уз снижавање трошкова експлоатације. Тако, од конвенционалних постројења, који су најзаступљенији у свету, где се пречишћавање врши аеробним процесима активим муљем и имају висок степен пречишћавања, затим постројења са анаеробним третманом до постројења која комбинују предности оба процеса уз ниже трошкове енергије, уз мању производњу отпадног муља и са мање сложености у раду, односно која захтевају што мањи утрошак енергије[61]. Конвенционална постројења за третман отпадних вода се састоје од[62] [63]:

- механички третман (грубе и фине решетке за уклањање већих честица)
- комбиновани механички предтретман
- црпна станица (опционо)
- биолошки третман отпадних вода (коришћењем аеробних или анаеробних процеса за пречишћавање воде).

Одабир најповољнијег система за третман отпадних вода је вишекритеријмски проблем, те се као такав, у циљу одабира одрживог система, мора и анализирати са више аспекта. Три основна аспекта су: економски, еколошки и социјални аспект. Економски аспект поред цене изградње обухвата и цену одржавања постројења у коју је укључен трошак радне снаге, трошак потребне енергије за рад постројења као и трошак за потрошни материјал. Еколошки аспект обухвата анализу успостављања одрживе животне средине уз поштовање важећих закона али поштовање природних закона животне средине, док се социјални односи на прихватљивост и сагласност на предложено решење од стране заинтересованих корисника.

Са порастом свести о смањењу утрошка енергије уз повећану свесност о неопходности заштите животне средине, подстиче се трагање за новим начинима третмана отпадних вода, који ће испунити горе поменуте критеријуме – да су економски и еколошки оправдани уз социјалну прхватљивост, што нас ставља пред нови изазов, а то је: прећи на нове, јефтиније, ефикасније и вишенаменске технологије пречишћавања употребљених вода.

---

[61] *Tchobanoglous, G., & Burton, F. L., Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse. McGraw-Hill, 1991.*
[62] Metcalf & Eddy, Inc., Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery. McGraw-Hill Education. 2014.
[63] *Љубисављевић Д., Ђукић А., Бабић Б., Пречишћавање отпадних вода, Грађевиснки факултет, Београд, 2004.*

Чињеница, која иде у прилог горе реченом је и да долази до прекида рада постојећих система, најчешће због своје неисплативости (висока цена коштања пречишћавања), а потом и услед недовољно стручног кадра који одржава системе или га у најгорем случају уопште и нема.

У наставку је дат преглед најчешће коришћених система за третман отпадних вода у руралним насељима, са посебном анализом традиционалних и нових технологија.

3.2.1 SBR технологија

Секвенцијални шаржни реактор (SBR - Sequencing Batch Reactor) је технологија која се користи од двадесетих година 20. века и тренутно представља једну од најраспрострањенијих метода третмана отпадних вода, посебно у руралним срединама. Ова технологија заснована је на процесу третмана са активним муљем и дубинском аерацијом, при чему се све фазе обраде одвијају у једном реактору, што доводи до значајних финансијских и просторних уштеда. Отпадне воде се третирају у више циклуса, чиме се постиже високи степен пречишћавања.

Активни муљ је мешавина микроорганизама који разграђују органске и неорганске материје у отпадним водама, као и неразградивих супстанци које се налазе у њима. Посебна предност овог уређаја је то што, због интервалног мењања услова у реактору, долази до развоја великог броја микроорганизама, што значајно побољшава квалитет пречишћавања отпадних вода.

Процес третмана у овом реактору обухвата четири основне фазе: пуњење, аерацију, фазу одмора (мировања) и одвод пречишћене воде[64]. Иако су ови процеси интегрисани у једном реактору, они се изводе у јасно одвојеним временским интервалима који су пропорционални протоку. По завршетку сваке фазе, започиње следећа, и цео циклус се понавља више пута дневно. Иако су процеси обједињени у једном реактору, сви се дешавају у јасно одвојеним временским интервалима који су пропорционални протоку, односно по завршетку једне фазе, започиње друга и то по неколико циклуса дневно. Опис фаза у секвенцијалном шаржном реактору[65]:

1. Фаза пуњења - увођење употребљене воде у реактор и пуњење првог резервоара SBR реактора у коме се врши исталожавање крупних честица, након тога отпадна вода се одводи у други резервоар.
2. Фаза аерације - након увођења воде у други резервоар започиње друга фаза третмана употребљених вода. У другом резервоару реализује се микробиолошки третман употребљених вода, спровођењем кратких и контролисаних фазе аерације и мировања реализује се микробиолошки третман

---

[64] *Драган Цветковић, Милан Деспотовић, Примена СБР система у пречишћавању комуналних отпадних вода са параметарским моделом постројења, Водопривреда, УДК: 628.35, 2011.*
[65] *Zhang, X., & Chen, G., Sequencing Batch Reactor Technology for Wastewater Treatment. Springer, 2014.*

отпадних вода. Долази до формирања активног муља у оквиру кога микроорнаизми врше даљи третман отпадних вода.

3. Фаза таложења и бистрења – након друге фазе следи периодмировња, током које долази до исталожавања муља заједно са бактеријама на дно резервоара, а пречишћена вода остаје у горњем делу резервоара.
4. Фаза декантације - овако пречишћена вода одводи ван реактора у реципјент, а исталожени муљ се враћа у први резервоар и циклус се покреће поново.

Предности ових уређаја су:

- омогућава велике флуктуације протока као и квалитета отпадних вода, које су посебно карактеристичне за мања насеља;
- аутоматизован даљински систем рада;
- висок степен третмана отпадних вода;
- брза монтажа опреме;
- заузимају малу површину.

Недостаци ових уређаја су:

- потребна је већа кадровска обученост запослених на одржавању;
- сложеност процеса уз потпуну аутоматизацију;
- потребна је више квалификована радна снага за одржавање и праћење рада система;
- специфична потрошња енергије је висока;
- мора се вршити редовно одлагање муља.

У табели 3.1 је дат приказ степена ефикасности СБР уређаја. Дати подаци су информативог карактера и приказују могућност ефикасности ових уређаја.

Табела 3.1: Ефикаснсот SBR уређаја[66]

Параметар	**Дозвољене концентрације за испуштање у воде II врсте**	**Вредности SBR уређаја**	**Најмањи проценат пречишћавања**
BPK5 (mg O2/l)	< 25	< 25	70
HPK (mg O2/l)	< 125	< 125	75
Суспендована материја (mg/l)	< 35	< 35	90
Укупни P (mg/l)	< 1	< 1	Други степен пречишћавања

[66]*Искуствени подаци „Borplatika eko“ д.о.о.*

Укупни N (mg/l)	< 21	< 21	Други степен пречишћавања
Мутноћа (NTU)	< 1	< 5	99
Уклањање бактерија (%)		Не	-

3.2.2 MBR технологија

Мембрански био реактор (MBR - Membrane Bioreactor) представља напредни процес третмана отпадних вода који комбинује биолошки третман активним муљем са мембранском ултрафилтрацијом[67]. Овај процес се обавља у компактним контејнерским постројењима, која су ефикасна у пречишћавању отпадних вода, и укључује три главне фазе:

- **Механички третман:** У првој фази, отпадна вода пролази кроз систем грубих и финих решетки, где се задржавају чврсте материје, масти, уља, песак и други крупни отпад. Ова фаза има за циљ елиминацију већих нечистоћа које могу ометати следеће кораке третмана.
- **Биолошки третман:** У другој фази, механички пречишћена вода се подвргава биолошком третману активним муљем. Микроорганизми у активном муљу разграђују органску материју, што доводи до значајног смањења БПК (биохемијска потреба за кисеоником) и других органских загађивача.
- **Мембранска филтрација:** У трећој фази, процес филтрације се изводи путем мембранске ултрафилтрације. Мембране задржавају микроорганизме и евентуално заостале органске и неорганске нечистоће, осигуравајући високу чистоћу пречишћене воде.

Предности ових уређаја су:

- висок степен уклањања органског загађења, азота, бактерија и вируса, те се вода може испусти у подземне воде уколико у близини нема реципјента;
- пречишћена вода се може одмах поново користи за потребе наводњавања, испирања тоалета, те је препорука је да се ови уређаји користе у посебно осетљивим подручјима;
- заузимају малу површину;
- висока аутоматизација система;
- нема емисије неугодних мириса и буке
- трошкови одржавањасу нижинего код класичних биолошких уређаја
- имају малу производњу отпадног муља, а самим тим и мање трошкове везане за то.

Недостаци ових уређаја су:

[67] *Richard W. Baker, Membrane Technology and Applications, ISBN:9780470020395 |DOI:10.1002/0470020393 2004.*

- Захтева континуалан доток отпадне воде и у случају дужег изостанка рада, систем се мора поново покренути;
- Потребно је квалификованоособље за рад на одржавању, уз напомену да поступак пражњења и чишћења мора бити спроведен од стране овлашћеног особља;
- Велика специфична потрошња енергије;
- Мора се вршити замена мембрана на сваких 5 година.

У табели 3.2 је дат приказ степена ефикасности MBR уређаја. Дати подаци су информативог карактера и приказују могућност ефикасности ових уређаја.

Табела 3.2: Ефикасност MBR уређаја[68]

Параметар	Дозвољене концентрације за испуштање у воде II врсте	Вредности MBR уређаја	Најмањи проценат пречишћавања
BPK5 (mg O2/l)	< 25	< 2	95
HPK (mg O2/l)	< 125	<50	90
Суспендована материја (mg/l)	< 35	<5	97
Укупни P (mg/l)	< 1	<1	95
Укупни N (mg/l)	< 21	<15	90
Мутноћа (NTU)	< 1	<5	99.99
Уклањање бактерија (%)		Да	99.99

3.2.3 MBBR технологија

Био носач за третман отпадних вода (MBBR - *Moving Bed Bioreactor*) представља представља напредну технологију за третман отпадних вода која користи микробиолошки процес уз примени слободно пливајућих носача на којима се развија биофилм. За разлику од традиционалних система са активним муљем, MBBR технологија користи носаче направљене од полиетилена високе густине, који имају високу специфичну површину, што омогућава ефикаснији развој микроорганизама. Ови носачи заузимају половину запремине самог реактора, а значајно доприносе повећању биолошке активности и стабилности процеса третмана.

[68] *Искуствени подаци „Borplatika eko“ д.о.о.*

Кључна разлика између MBBR технологије и класичних система са активним муљем је у начину функционисања[69]. Док се активни муљ у традиционалним системима карактерише релативно кратким животним циклусом, често уз дренажу вишка муља, код MBBR система имобилисани микроорганизми на носачима могу достићи значајно дужи животни век, што чини овај процес стабилнијим и ефикаснијим у дугорочном периоду. Такође, у овим системима се постиже значајно нижа количина муља, што је биолошки повољно и смањује потребу за честим уклањањем муља[70].
Предности ових уређаја су:

- висока ефикасност третмана отпадних вода, услед задржавања муља (повољно за нитрификацију);
- реагује на осцилације оптерећења аутоматски, без интервенције руковатеља опремом;
- отпорност на токсичан шок;
- ниска продукција муља;
- мала површина уградње.

Недостаци ових уређаја су:

- потребна је већа кадровска обученост запослених на одржавању;
- сложеност процеса услед потпуне аутоматизације процеса.

У табели 3.3 је дат приказ степена ефикасности MBBR уређаја. Дати подаци су информативог карактера и приказују могућност ефикасности ових уређаја.

Табела 3.3: Ефикаснсот MBBR уређаја[71]

Параметар	**Дозвољене концентрације за испуштање у воде II врсте**	**Вредности MBBR уређаја**	**Најмањи проценат пречишћавања**
BPK5 (mg O2/l)	< 25	< 25	70
HPK (mg O2/l)	< 125	< 125	75
Суспендована материја (mg/l)	< 35	< 35	90
Укупни P (mg/l)	< 1	< 1	Други степен пречишћавања
Укупни N (mg/l)	< 21	< 21	Други степен пречишћавања

[69] Драган Цветковић, Вања Шуштешич, Упоредни преглед карактеристика ротационих биодискова и секвенцијалних фазних реактора за третман комуналних отпадних вода, Водопривреда, УДК:628.35, 2011.
[70] *Metcalf & Eddy, Inc., Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery. McGraw-Hill Education. 2014.*
[71] *Искуствени подаци „Borplatika eko“ д.о.о.*

Мутноћа (NTU)	< 1	< 5	99
Уклањање бактерија (%)		Не	-

3.2.4 Природни биљни ситеми – фиторемедијација

У супротности са традиционалним технологијама које се најчешће примењују у децентрализованим моделима третмана отпадних вода, где се користе механички, хемијски или физички процеси за уклањање контаминаната, у наставку ће бити представљена једна од иновативних и еколошки одрживих метода – фиторемедијација. Ова техника, која се ослања на природне процесе, користи биљке као основни механизам за третман воде. Биљке у овом контексту не само да уклањају контаминисане материје из воде, већ и обављају важну улогу у враћању природне равнотеже екосистема. Кроз процес апсорпције, разлагања или избацивања штетних супстанци, биљке активирају природне механизме који нам омогућавају да заштитимо животну средину, смањимо утицај индустријских и урбаних отпадних вода на екосистеме, и поново користимо воду за различите сврхе. Ова методологија, која се све више препознаје као одрживо и ефикасно решење, омогућава интеграцију природе у технолошке процесе и значајно смањује потребу за употребом хемијских средства, чиме се смањује и ризик од секундарне контаминације.

Фиторемедијација је природна метода за пречишћавање отпадних вода која користи биљке, као и микроорганизме који се налазе у њиховом кореновом систему, како би апсорбовали, разграђивали или избацивали контаминиране материје из воде. Овај процес је еколошки прихватљив и економски одржив, јер користи природне механизме уместо хемијских третмана[72]. Основне технике фиторемедијације укључују:

1. Фитоекстракција: Биљке апсорбују контаминиране материје (тешке метале, хемикалије) из воде кроз своје корене и транспортују их у друге делове биљке (стабљику, листове). Ове супстанце се затим могу уклонити путем жетве биљака.
2. Фитодеструкција: Биљке и микроорганизми у кореновом систему разграђују органске контаминанте као што су пестициди и разни хемикалије у воду. Овај процес се често користи за уклањање токсичних органских супстанци.
3. Фитомониторинг: Биљке се користе за праћење квалитета воде. Одређене биљке показују знакове стреса када се вода контаминира, што омогућава рано откривање проблематичних вода.

Природни биљни системи имају за циљ имитирање природних процеса који се одвијају у мочварама, чиме се стварају амбијенталне и еколошке зоне, уместо загађених, те представљају својеврстан екосистемски процесор. Сами механизми, који

[72] *R. G. Allen, S. A. McDonald, J. C. Stewart, Phytoremediation of Contaminated Soil and Water, 2004.*

се одвијају унутар система, су изузтно сложени, а обухватају механички, биолошки, физички и хемијски третман отпадних вода[73].

Механички третман се одвија у таложницима, где долази до исталожавања чврстих материја на дно, а делимично избистрена вода се даље одводи у фитолагуне где се даље одвија биолошки третман. Биолошки третман отпадних вода се ослања на способност појединих биљних врста да уклањају штетне материје из отпадних вода. Физички третман отпадних вода се реализује проласком отпадне воде кроз супстрат, који представља филтерски слој, а хемијски третман се огледа у трансформисању отпадних материја у неопасне, однсоноспроводи се оксидација и редукција фосфора и азота. У табели 3.4 је дат приказ механизма уклањања загађивача у отпадним водама.

Табела 3.4: Механизми уклањања загађивача у отпадним водама кроз фиторемедијацију[74]

Параметар	**Механизам уклањања**
Суспендоване материје	Седиментација Филтрација
Органске загађивачи	Аеробна биолошка деградација Анаеробна биолошка деградација Испаравање
Патогени	Седиментација Филтрација UV зрачење Природно одумирање Предаторство
Метали	Адсорпција и катјонска размена Биљна апсорпција Микробиолошка оксидација/редукција
Укупни P	Биљна апсорпција
Укупни N	Биљна апсорпција Денитрификација

Вегетација има веома важну улогу у раду ових система: преко листова и стабла омогућава се пренос кисеоника у зону корења; врши апсорпцију отпадних материја; угинула вегетација представља храну те омогућава раст и развој потребних микроорганизама који врше третман отпадних вода; производња енергије у случају коришћења енергетских биљних врста; доприносе естетској вредности ових система.

Најчешће се користеаутохтоне биљне врсте, попут трске (лат. *Phragmites australis*), рогоз (лат. *Typha latifolia*), перуника (лат. *Iris pseudacorus*), шаш (лат. *Carex sp.*),

[73] *USEPA, Manual, Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewater, 2000.*
[74] *Hoffmann, H., Platzer, C., Winker, M., von Muench, E.: Technology review of constructed wetlands; Subsurface flow constructed wetlands for greywater and domestic wastewater treatment, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ), Eschborn, 2011.*

али и неке од високо енергетских врста попут кинеске трске (лат. *Miscanthus x giganteus)*, врбе (лат. *Salixviminalis*) и др.

Предности ових система су:

- Ниски трошкови изградње;
- Ниски трошкови одржавања;
- Мала или никаква потреба за енергијом;
- Нема захтева за машинском опремом или се захтева само пумпа;
- Могућност успостављања „нула“ отпада;
- Лако се уклопају у природни амбијент насеља;
- Нема употебе хемикалија;
- Обезбеђују станишта за другу флору и фауну;
- Рекултивација деградираног земљишта – претварање у еколошку оазу;
- За изградњу се користе природни и локални материјали;
- Могу се контруисати тако да испуне услов дуалности, модуларности и адаптивности и служити за додатна истраживања и образовање младих.

Недостаци ових уређаја су:

- Потребна је знатно већа површина за постављање у односу на стандардне системе;
- Не постоје јасно дефинисани пројектантски критеријуми за различите климатске услове и различите модле ових система, те се мора пројектовати засебно за сваки појединачни случај.

Током септембра 2017. године, заједно са представницима Факултета за примењену екологију „Футура“, спроведена је студијска посета једном биолошком постројењу за третман отпадних вода у Кирнбергу у Аустрији. Постројење је изграђено за 300 ЕС, а у табели 3.5 је дат приказ резултата пречишћавања отпадних вода поемнутог постројења, а која су добијена приликом посете истог [75] [76] [77] [78].

Табела 3.5: Вредности пречишћене воде биолошким постројењем за третман отпадних вода у Кирнбергу у Аустрији

[75] Anonym, Biologische Pflanzenkläranlage Kürnberg, “Satzung der Abwassergenosenschaft Kürnberg“, Kürnberg 2007.
[76] Anonym, Biologische Pflanzenkläranlage Kürnberg, „Gebührenordnung der Abwassergenosenschaft Kürnberg“, Kürnberg 2007.
[77] Anonym, Biologische Pflanzenkläranlage Kürnberg, „Festschrift Biokläranlage“, Kürnberg 2007.
[78] Anonym, Biologische Pflanzenkläranlage Kürnberg, „Kläranlage Kürnberg Systemschnitt“, Kürnberg 2007.

Параметар	Дозвољене концентрације за испуштање у воде II врсте	Просечне вредности на излазу из система у Кирнергу	Најмањи проценат пречишћавања[79]
BPK5 (mg O2/l)	< 25	2	80
HPK (mg O2/l)	< 125	15	80
Суспендована материја (mg/l)	< 35	1.70	90
Укупни P (mg/l)	< 1	0.62	Други степен пречишћавања
Укупни N (mg/l)	< 21	10.5	Други степен пречишћавања
Мутноћа (NTU)	< 1	0.6	99
Уклањање бактерија (%)		Делимично	Не

Постоје различити модели система фиторемедијације, који се могу категоризовати у две главне групе на основу начина протока воде: са слободним током и са подповршинским током воде[80] [81].

Модели са слободним током воде укључују системе у којима вода циркулише изнад површине тла, омогућавајући биљкама да апсорбују контаминиране материје из воде која пролази кроз њихов коренов систем. Овај тип система подразумева отворене базене или канале у којима вода слободно тече, а биљке су углавном урађене као фито-филтери[82]. Предност ових система је што су лакши за инсталацију и мање захтевни у погледу одржавања. Међутим, могу бити мање ефикасни у уклањању одређених врста контаминација, као што су теже материје.

Избистрена отпадна вода се улива на једној страни и слободно тече према другом крају где се налази испуст. Сама површина ових модела је потпуно изложена атмосферском утицају. Овај модел третмана се данас ређе користи као самосталан у процесу третмана отпадних вода, а примену проналази као последњи у низу, односно као базен за полирање.

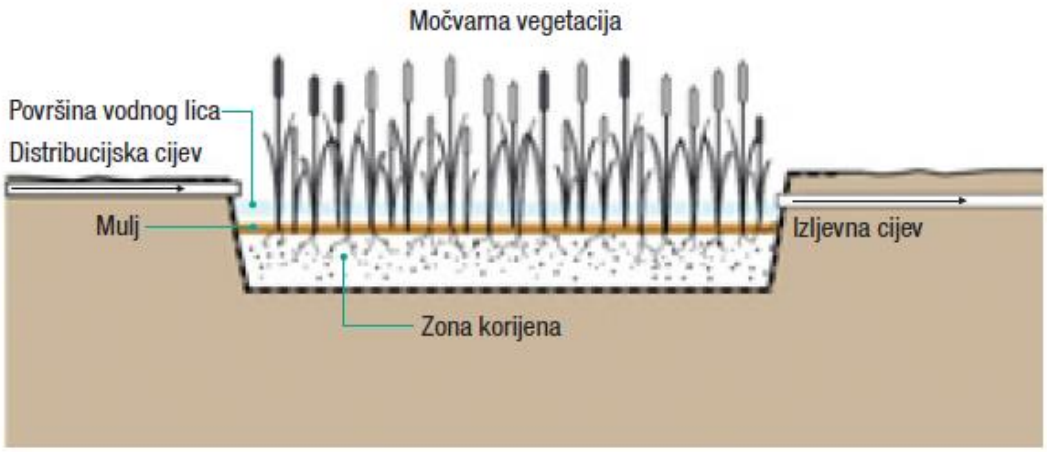
---

[79] *Diana Irvindiaty Hendrawan, Sulistyoweni Widanarko, Setyo Sarwanto Moersidik and Robertus Wahyudi Triweko, The Performance Of Subsurface Constructed Wetland For Domestic Wastewater Treatment, , International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) ISSN: 2278-0181*

[80] *Ružinski, N., Anić Vučinić, A., Obrada otpadnih voda biljnim uređajima, Hrvatska sveučilišna naklada, Zagreb (2010).*

[81] *Malus i saradnici, Priručnik za učinkovitu primjenu uređaja, Pročišćavanje sintetskih otpadnih voda CEEPROJECT, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski Fakultet Zagreb (2012).*

[82] *Free Water Surface Wetlands for Wastewater Treatment: A Tecnology assessment.pdf – EPA document*



Слика 3.2: Схематски приказ модела са слободним током[83]

Модели са подповршинским током воде подразумевају да вода пролази кроз земљиште или други супстрат испод површине, где биљке користе своје коренове да апсорбују или разграде контаминиране супстанце. Ови системи често укључују дубље и сложеније структуре, који омогућавају бољу интеракцију воде са биљним кореновим системом[84]. Предност ових система је већа ефикасност у уклањању широког спектра контаминација. Код биљних постројења са подповршинским током воде разликујемо два модела: са подповшинским хоризонталним током и са подпвршинским вертикалним током воде.

Модели са подповршинским хоризонталним током воде се одликују кретањем отпадне воде кроз земљиште које је затворено од атмосферског утицаја. У овом систему, отпадне воде пролазе кроз слојеве земљишта и филтрирају се кроз различите медије попут песка, шљунка и органских материјала, док биљке присутне у систему играју кључну улогу у уклањању контаминаната. Овај модел има своје значајне позитивне особине, које се огледају у великој популацији микроорганизама које се формијару у ризосфери, суспендоване чврсте материје се формирају на површини. Са друге стране услед ограниченог трансфера кисеоника, не спроводи се адекватна нитрификација, али се спроводи добро уклањање нитрата.

Главни механизми који се користе у овим постројењима су:

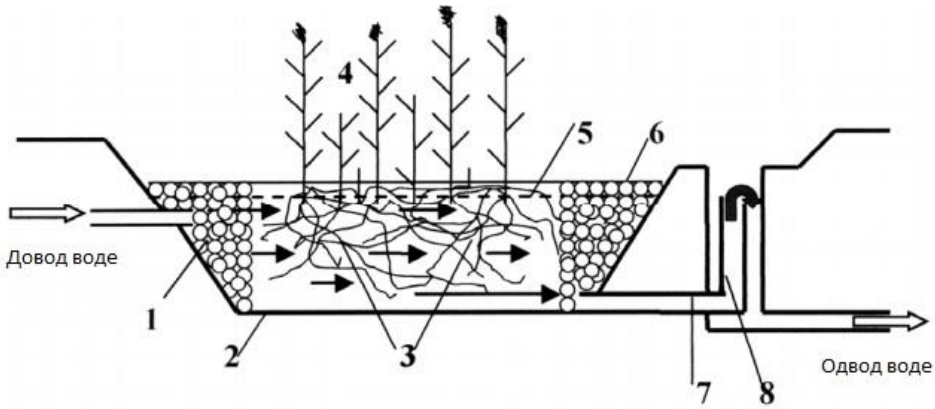
1. Физичка филтрација: Отадна вода пролази кроз филтерске слојеве (субстрат), где долази до исталожавања већих честица у порозним структурама филтерског слоја.
2. Хемијска апсорпција: Вегетација и филетрски слој апсорбује неке од растворених контаминаната, као што су метали, нитрати и фосфати, који могу бити присутни у отпадним водама.

[83] *Davor Malus, Dražen Vouk, Priručnik za učinkovitu primjenu biljnih uređaja za pročiščavanje sanitarnih otpadnih voda, Sveučilište u Zagrevu, Građevinski fakultet, 2012.*
[84] *Kadlec R. H., Wallace S. D. Treatment Wetlands Second Edition. CRC Press: Boca Raton, Florida, 2009.*

3. Биолошка декомпозиција: Микроорганизми који се настањују у ризомима вегетације и субстрату играју важну улогу у даљем разграђивању органских контаминаната. Коренови биљака пружају оптималне услове за раст микроорганизама, што побољшава брзину разграђивања органских супстанци у отпадној води.
4. Евапотранспирација: Биљке узимају воду из земљишта и испаравају је кроз своје листове (евапорација), што смањује количину воде која остаје у систему, али такође може играти улогу у уклањању неких испарљивих контаминаната.

Елементи модела са подповршинским хоризонталним током воде су дати на слици 3.3, где је:

1. Уливна зона за разливање отпадне воде;
2. Водонепропусна мембрана;
3. Филтерска испуна од шљунка или песка;
4. Биљке које се користе у процесу третмана отпадних вода;
5. Ниво воде у лагуни;
6. Изливна зона;
7. Одводна цев;
8. Објекат за контролу нивоа воде у лагуни.



Слика 3.3: Схематски приказ елемената модела са подповршинским хоризонталним током воде[85]

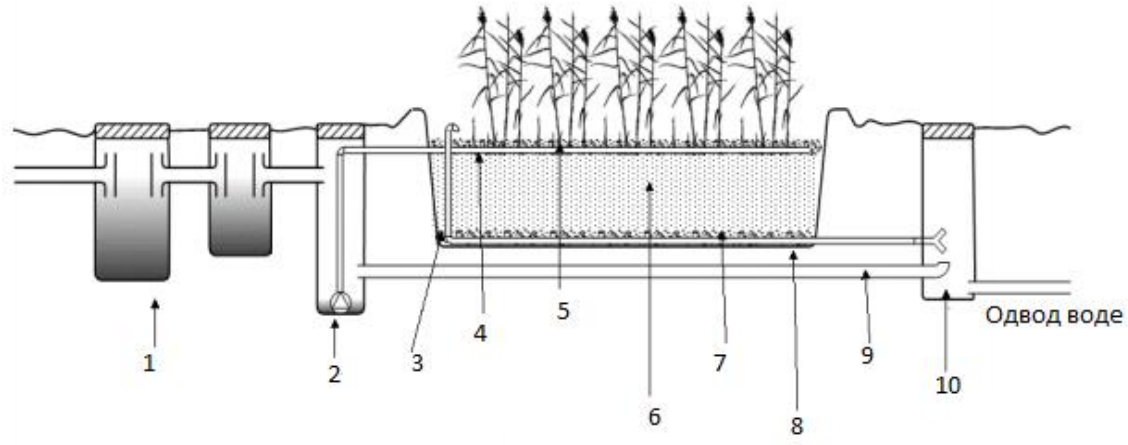
Биљна постројења за третман отпадних вода са подповршинским вертикалним током воде представљају напредну и еколошки одрживу технологију која користи природне процесе филтрације и биолошке разграђивање контаминаната путем вертикалног тока воде кроз земљиште. Ова врста постројења, која подразумева проток воде кроз порозне медије као што су песак, шљунак и органски материјали, игра кључну улогу у пречишћавању отпадних вода, посебно у малим и средњим

[85] *Vymazal: Removal of Nutrients in Various Types of Constructed Wetlands, The Science of The Total Environment, August 2007.*

капацитетима, као и у областима где је природни третман отпадних вода економски повољан и ефикасан[86].

Подповршински вертикални ток воде у овим системима подразумева пролазак отпадних вода кроз различите слојеве земљишта у вертикалном правцу, где се контаминанти уклањају на више начина. Ова биљна постројења комбинују физичке, хемијске и биолошке процесе који омогућавају висок степен пречишћавања отпадних вода[87]. Главни механизми који се користе у овим системима су исти као и код модела са хоризонталним током воде. Елементи модела са подповршинским хоризонталним током воде су дати на слици 3.4, где је:

1. Уливна зона за разливање отпадне воде;
2. Водонепропусна мембрана;
3. Филтерска испуна од шљунка или песка;
4. Биљке које се користе у процесу третмана отпадних вода;
5. Ниво воде у лагуни;
6. Изливна зона;
7. Одводна цев;
8. Објекат за контролу нивоа воде у лагуни.



Слика 3.4: Схематски приказ елеманата модела са подповршинским вертикалним током воде[88]

Приликом пројектовања овог модела потребно је водити рачуна да се мора обезбедити дисконтинуирани доток отпадне воде, у интервалима неколико пута на дан. У периоду мировања, између два наливања, врши се оваздушење средишњег филтерског дела, што је од изузетне важности за стварање услова за одвијање процеса

[86] *Cooper P.F. The performance of vertical flow constructed wetland systems with special reference to the significance of oxygen transfer and hydraulic loading rate. Water Science and Technology, 2005.*
[87] *Kadlec R. H., Wallace S. D. Treatment Wetlands Second Edition. CRC Press: Boca Raton, Florida, 2009.*
[88] *Vymazal: Removal of Nutrients in Various Types of Constructed Wetlands, The Science of The Total Environment, August 2007.*

добре нитрификације.Нитрификујуће бактерије се развијају у присуству кисеоника, а са друге стране денитрификујући микроби цветају у анаеробном окружењу.

Карактеристика за оба поменута модела је да се мора водити рачуна о осигуравању могућности регулације нивоа воде, а самим тим и време ретензије, као и обезбеђење довољне количине воде за вегетацију.

У циљу постизања већег степена искоришћења оба модела, у последње време се све чешће користе хибридни системи, који представљају комбинацију оба модела. Постиже се већа ефикасност третмана отпадних вода, сигурнија нитрификација, денитрификација, као и одстранивање суспендованих материја. Због аеробних услова, фитолагуне са вертикалним током су најчешће прве у низу, а потом због потреба денитрификације следи фитолагуна са хоризонталним током воде[89].

Пројектовање ових система је изузетно сложено и подразумева мултидисциплинарни приступ и заједнички рад инжењера, биолога, хемичара, технолога, аналитичара животне средине. Проблем са којим се пројектанти суочавају је да не постоје јасне смернице за пројектовање ових ситема, услед зависности истих од низа фактора: квалитета отпадне воде, степена захтеваног третмана отпадне воде, климатских услова, расположиве површине. Све ово води могућем предимензионисању чиме се повећавају негативни утицаји смрзаваа воде током зимских месеци или поддимензиносању што опет води испливавњу отпадне воде на површину, појаве непријатних мириса и неадекватном третману оптадних вода. Из тебеле 3.6 уочава се да је потребна већа површина за фитолагуне са хоризонталним током воде, што је условљено потребним ретензионим временом задржавања отпадне воде. Велики број различитих доступних смерница за пројектовање се могу наћи у радовима: Cooper (2005), Vymzal et al. (2008), Kadlec and Wallace (2009).

Табела 3.6: Приближне вредности за прорачун потребне повшине за фитолагуне у зависности од климатских услова[90]

КЛИМА / ПОВРШИНА	ХЛАДНА КЛИМА Средња годишња температура <10°C		ТОПЛА КЛИМА Средња годишња температура >20°C	
	Хоризонталан ток воде	Вертикалан ток воде	Хоризонталан ток воде	Вертикалан ток воде
Потребна површина (m^2/ES)	8	4	3	1.2

[89] *Davor Stanković, Constructed wetlands for wastewater treatment, Građevinar 69, 2017.*
[90] *Hoffmann, H., Platzer, C., Winker, M., von Muench, E.: Technology review of constructed wetlands; Subsurface flow constructed wetlands for greywater and domestic wastewater treatment, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ), Eschborn, 2011.*

3.3 Упоредна анализа постојећих технологија

У овом поглављу представљен је преглед доступних и најчешће примењиваних метода за третман отпадних вода које се користе у децентрализованим моделима третмана. Свака од наведених метода има специфичан третман отпадних вода, али крајњи резултат ових процеса у великој мери остаје сличан, у смислу побољшања квалитета воде. Различите методе се користе у зависности од локалних услова, као што су врста отпадних вода, доступност ресурса, као и економска и еколошка оправданост примене. У наставку је приказан табеларни преглед основних карактеристика разматраних технологија третмана отпадних вода, који омогућава лакше упоређивање различитих приступа у контексту њихове примене и ефикасности. Овај преглед даје прегледне информације о очекиваном степену ефикасности, техничким и еколошким аспектима, као и опсег примене сваке од метода, што је од великог значаја за избор оптималног решења у одређеним условима.

Табела 3.7: Упоредна анализа доступних технологија за третман отпадних вода

Параметар	**Најмањи проценат пречишћавања SBR**	**Најмањи проценат пречишћавања MBBR**	**Најмањи проценат пречишћавања MBR**	**Најмањи проценат пречишћавања Фиторемедијација**
BPK5 (mg O2/l)	70	70	95	75
HPK (mg O2/l)	75	75	90	75
Суспендована материја (mg/l)	90	90	97	93
Укупни P (mg/l)	Други степен пречишћавања	Други степен пречишћавања	95	Други степен пречишћавања
Укупни N (mg/l)	Други степен пречишћавања	Други степен пречишћавања	90	Други степен пречишћавања
Мутноћа (NTU)	99	99	99.99	95
Уклањање бактерија (%)	НЕ	НЕ	99.99	Делимично

У наредним табелама дат је упоредни приказ финансијских захтева за разматране моделе третмана отпадних вода. Трошкови изградње, као и цена одржавања су добијени из компаније „Borplastika eko“ , као и из личног досадашњег искуства у пројектовању и изградњи ових система.

Табела 3.8: Потреба за електричном енергијом за 100, 500, 1000 и 2000 ЕС

Потреба за електричном енергијом за комплетно постројење	**SBR** **Вредност (kW)**	**MBR** **Вредност (kW)**	**MBBR** **Вредност (kW)**	**Фиторемедијација**
100 ES	5.66	19.16	5.66	Без или занемарљива вредност
500 ES	11.66	116.66	15.16	Без или занемарљива вредност
1000 ES	19.66	229.46	23.46	Без или занемарљива вредност
2000 ES	35.46	455.46	43.46	Без или занемарљива вредност

Табела 3.9: Упоредни приказ финансијског аспекта за разматране моделе третмана отпадних вода

Параметар	**SBR**	**MBR**	**MBBR**	**Фиторемедијација**
Цена изградње (€/ЕС) (није урачуната површина за изградњу)	210 - 370	350 - 700	330 - 520	130 - 240
Трошкови одржавања на годишњем нивоу (€/m^3)	1.70	2.50	1.90	0.10
Потребна површина (m^2/ЕС)	0.5 – 0.9	0.5 – 0.9	0.5 – 0.9	2 - 5

3.4 Закључна разматрања

Историјски посматрано, постоје два основна циља третмана отпадних вода, а то је заштита здравља људи - спречавање ширења заразе, као и заштита вода и животне средине од опасних материја из употребљених вода. Са повећањем еколошке освешћености, као и доношењем закона и подзаконских аката, који прате ЕУ регулативу, све већи је број малих заједница и домаћинстава које имају обавезу да врше третман употребљених вода.

Без обзира на различитост технолошких процеса који се дешавају у постројењима за третман отпадних вода, излазни параметри, свих, испуњавају услов максимално дозвољених вредности излазних параметара. Овде треба напоменути и да MBR технологија нуди највећи степен третмана отпадних вода, уз чињеницу да се мора водити рачуна о континуитету дотока отпадних вода јер у случају дужег изостанка нових количина отпадних вода, цео систем се мора поново покренути. Са аспекта сложености рада најсложенији који захтева и високо квалификовану радну снагу је МБР уређај, док је третман отпадних вода фиторемедијацијом најједноставнији и не захтева специјалну обуку људства за одржавање.

Када је реч о продукцији муља, највиша је код МБР уређаја, али са друге стране степен ефикасности је уједно и највећи и ови урежају испуњавају и најстрожије захтеване услове третмана отпадних вода у посебно заштићеним подручјима.

Са финансијског аспекта, највеће трошкове изградње има МБР уређај, потом МББР, па СБР и на крају системи са фиторемедијацијом. Када причамо о потребној површини фиторемедијациони модели захтевају знатне површине у односу на остале моделе. Иако се ради о знатним површинама, у руралним срединама ово не би требало да представља значајан параметар, обзиром да готово у свакој средини се могу наћи знатне деградиране површине које се могу употребити за ову намену.

У овом поглављу су приказане неке од доступних традиционалних технологија које се код нас најчешће користе у моделима децентрализованих система уз приказ природних биљних системи са принципима фиторемедијације као алтернативног решења третмана отпадних вода, које би, сходно датој упоредној анализи параметара, озбиљније требало узети у разматрање у даљим планским документима и анализама. Ови системи представљају иновативну и еколошки одрживу технологију која користи природне процесе за ефективно пречишћавање воде. Њихова примењивост у различитим условима, као и економска и еколошка корист, чине ову технологију важним решењем у контексту управљања отпадним водама, посебно у мањим и средњим капацитетима. Будућа истраживања која ће се фокусирати на оптимизацију и прилагођавање ових система различитим условима, као и на развој нових биљних врста за овакве системе, биће кључна за њихову широку примену и унапређење ефикасности. Изазови и будући правци истраживања природних биљниxx постројења која се морају детаљно размотрити:

- Оптимизација система: Иако су овакви системи ефикасни, њихова оптимизација у различитим климатским и геолошким условима и даље представља изазов. Потребна су даља истраживања која ће омогућити боље разумевање и предвиђање учинка ових система у различитим условима.

- Менаџмент биљака и одржавање: Превише или премало воде, као и неправилно одржавање биљака, може довести до смањења ефикасности система. Стога, правилно управљање растом биљака и контрола дистрибуције воде остају кључни фактори за успех.

- Регулативни оквир: Развијање и имплементација стандарда и регулатива који ће омогућити широко прихватање ових система као легитимних метода за третман отпадних вода.

У овом раду није анализирано питање одлагање отпадног муља, јер је количина муља са овако малих постројења мала и препорука је да се користи за декомпостирање заједно са зеленим отпадом чиме би се затворио циклус и постигла нула отпада. У противном предлог је да се одлагање муља врши на најближем централном систему који поседује линију муља, на градску депонију.

Поглавље 4: ДЕФИНИСАЊЕ МЕТОДОЛОГИЈЕ ОДАБИРА ТРЕТМАНА ОТПАДНИХ ВОДА ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАНОГ СИСТЕМА

4.1 Анализа анкете о спремности мештана са територије града Краљева за примену иновативних решења у области третмана отпадних вода

У циљу утврђивања спремности мештана града Краљева, за примену иновативних решења у области третмана отпадних вода, у периоду од априла до јула 2021. године, спроведена је анкета, којом је обухваћено 204 испитаника са територије 64 месних заједница града Краљева. За реализацију анкете припремљен је упитник, који је попуњен кроз директну комуникацију са испитаницима.

Упитник се састоји од два дела питања затвореног типа, општег дела који се односи на социо-демографске информације испитаника, односно место становања, старост и образовање и други део који се односи на информисаност о ставовима испитаника по питању управљања отпадним водама.

У складу са постављеним предметом, основни циљеви истраживањана које је требало добити одговоре, били су:

Ц1: Ставови испитаника по питању загађења животне средине

Ц2: Начин скупљања и третмана употребљених вода у домаћинствима испитаника

Ц3: Информисаност о значају третмана употребљених вода

Ц4: Информисаност испитаника о познавању модела биљног пречишћавања употребљених вода

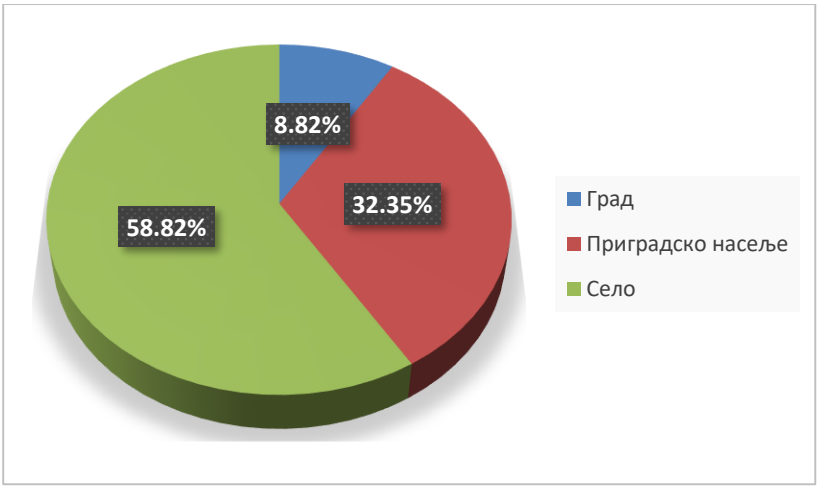
Ц5: Спремност за примену иновативних решења за третман употребљених вода

Прикупљени подаци анкетом су анализирани коришћењем програма за статистичку обраду података SPSS (*The Statistical Package for the Social Scieces*) и *Microsoft Excel*.

Анкетирањем су обухваћени испитаници са територије града Краљева, односно из 68 месних заједница града Краљева.

Табела 4.1: Структура узорка према месту живљења

Град	18	8.82%
Приградско насеље	66	32.35%
Село	120	58.82%
Укупан број испитаника = 204		

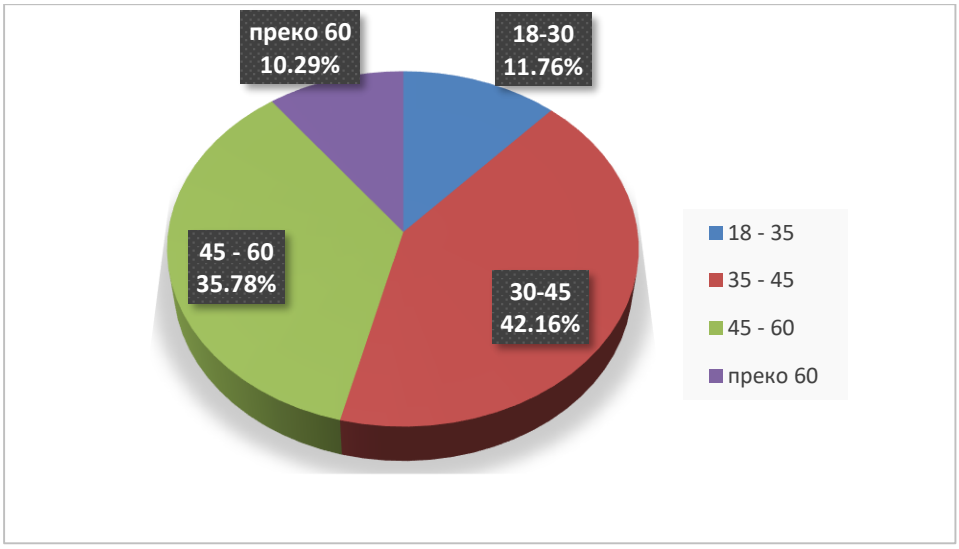


Слика 4.1: Структура узорка према месту живљења

У анкетирању су учествовали испитаници свих старосних доба.У узорку је 24 (11.76%) испитаника старости од 18 до 30 година, 86 (42.16%) испитаника од 30 до 45 година, затим 73 (35.78%) старости од 45 до 60 година и 21 (10.29%) испитаника старијих од 60 година.

Табела 4.2: Структура узорка према старости

18 - 30	24	11.76 %
30 - 45	86	42.16 %
45 – 60	73	35.78 %
Преко 60	21	10.29 %
Укупан број испитаника = 204		

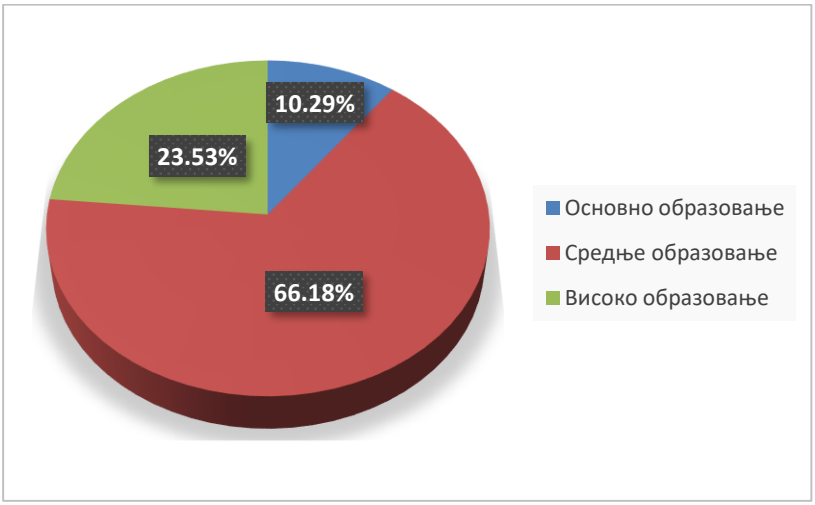


Слика 4.2: Старост испитаника

Када је образовна структура у питању, основно образовање има 21 (10.29%)испитаника, 135 (66.18%) испитаника имају средње образовање, а 48 испитаника (23.53%) има високо образовање.

Табела 4.3: Структура узорка према старости

Основно образовање	21	10.29%
Средње образовање	135	66.18%
Високо образовање	48	23.53%
Укупан број испитаника = 204		



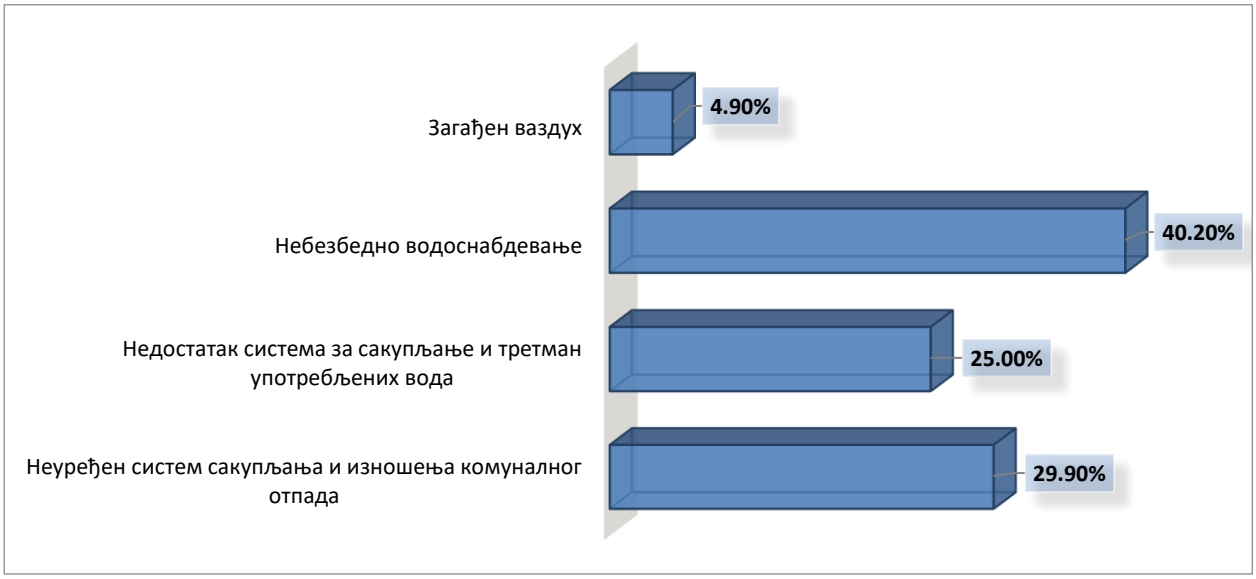
Слика 4.3: Старост испитаника

Ц1: Ставови по питању загађења животне средине

Далеко највеће бриге у вези са загађењем животне средине, на укупном посматраном узорку, изазива небезбедно водоснабдевање 82 (40.20%) испитаника, потом неуређен систем сакупљања и изношења комуналног отпада 61 (29.90%). Недостатак система за сакупљање и третман отпадних вода је препознало 51 (25.00%) испитаника, а загађен ваздух забрињава 10 (4.90%) испитаника.

Табела 4.4: Став испитаника у погледу највећег еколошког проблема

Неуређен систем сакупљања и изношења комуналног отпада	61	29.90%
Недостатак система за сакупљање и третман отпадних вода	51	25.00%
Небезбедно водоснабдевање	82	40.20%
Загађен ваздух	10	4.90%
Укупан број испитаника = 204		



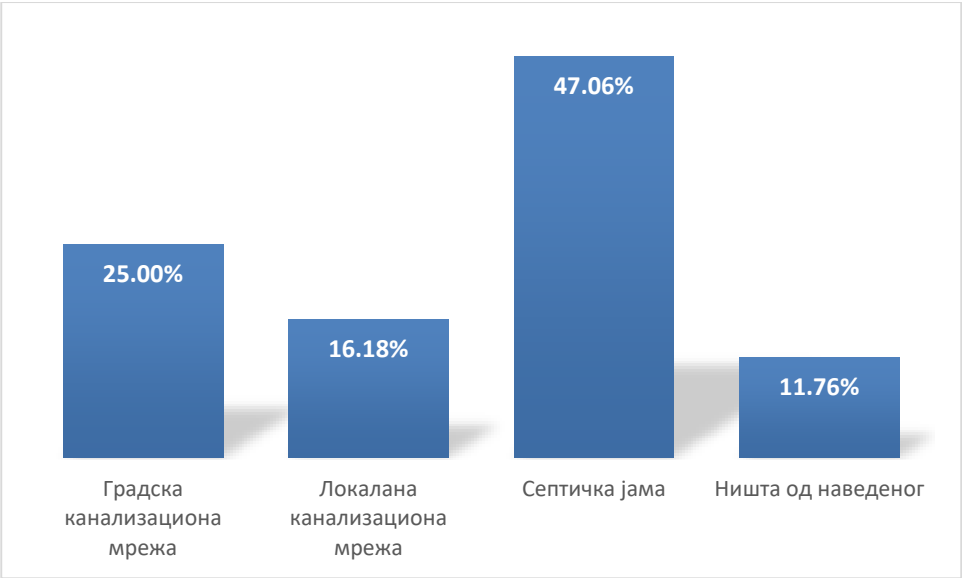
Слика 4.4: Став испитаника у погледу највећег еколошког проблема

Ц2: Начин скупљања и третмана употребљених вода у домаћинствима испитаника

Сагледавањем прикупљених одговора, уочавамо да највећи проценат испитаника, питање сакупљања и третмана отпадних вода из домаћинства решава изградњом септичких јама 96 (47.06%) испитника, потом 51 (25.00%) је прикључено на грдску канализациону мрежу, 33 (16.18%) је прикључено на локалну канализациону мрежу, док 24 (11.76%) испитаника нема никакво решење за отпадне воде, већ се исти слободно изливају у канале, водотоке и слично. Кроз разговор са испитаницима који имају септичке јаме као решење, дошли смо до информација да исте нису изграђене као водонепропусне као ни да се редовно празне и одржавају ид стране надлежног комуналног предузећа, већ се празмне ангажовањем мештана који поседују цистерне, а који потом садржај изливају на пољопривредне површине или отворене канале, водотоке и слично.

Табела 4.5: Место испуштања отпадних вода из домаћинства

Градска канализациона мрежа	51	25.00%
Локална канализациона мрежа	33	16.18%
Септичка јама	96	47.06%
Ништа од наведеног	24	11.76%
Укупан број испитаника = 204		

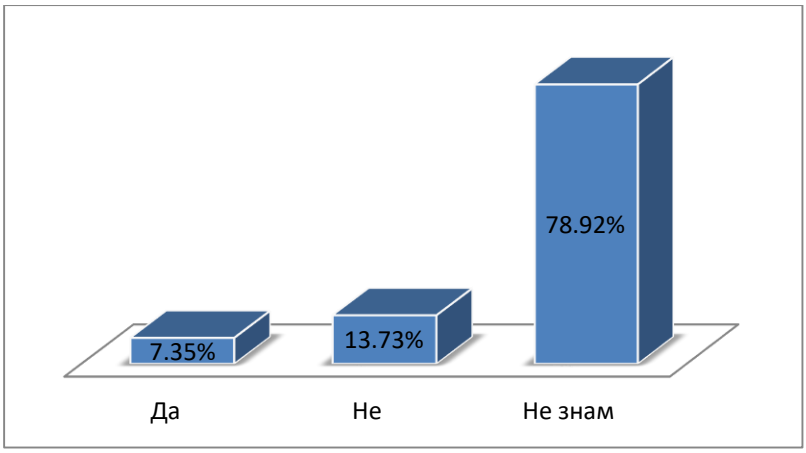


Слика 4.5: Место испуштања отпадних вода из домаћинства

Када говоримо о информисаности да ли се испуштена отпадна вода из домаћинства пречишћава, свега 15 (7.35%) испитаника се изјанисло да се вода пречишћава, док 28 (13.73%) испитаника је рекло не, а 161 (78.92%) испитаник је рекло да не зна.

Табела 4.6: Пречишћавање отпадних вода из домаћинства

Да	15	7.35%
Не	28	13.73%
Не знам	161	78.92%
Укупан број испитаника = 204		



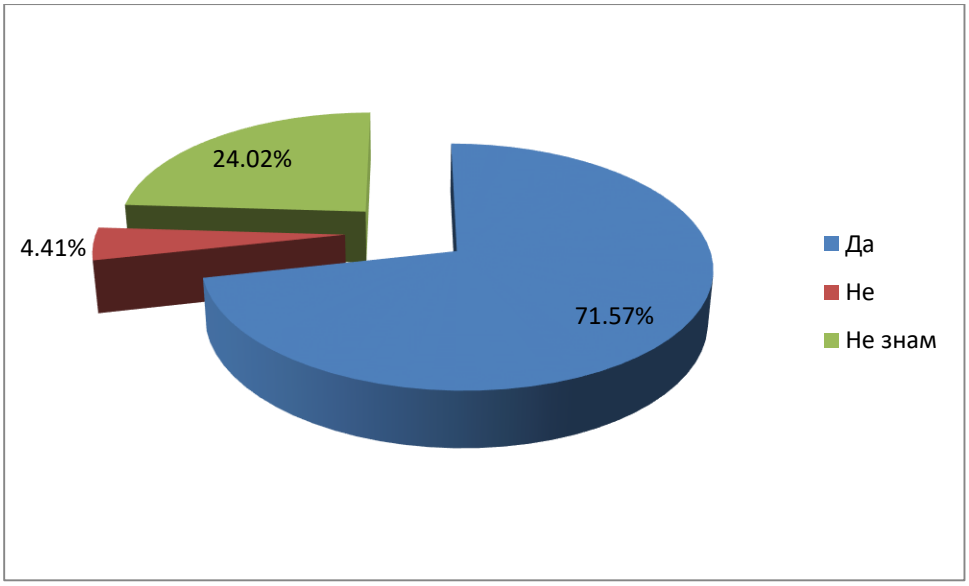
Слика 4.6: Пречишћавање отпадних вода из домаћинства

Ц3: Информисаност о значају третмана употребљених вода:

Већи број испитаника, 146 (71.57%) се изјаснио позитивно у погледу неопходности пречишћавања употребљених вода. Са друге стране, неочекивано висок број, 49 (24.02%), је рекло да не зна, што указује на неопходност информисања о последицама неадекватног пречишћавања употребљених вода пре испуштања у реципјент.

Табела 4.7: Ставови испитаника о потреби пречишћавања употребљених вода

Да	146	71.57%
Не	9	4.41%
Не знам	49	24.02%
Укупан број испитаника = 204		



Слика 4.7: Ставови испитаника о потреби пречишћавања употребљених вода

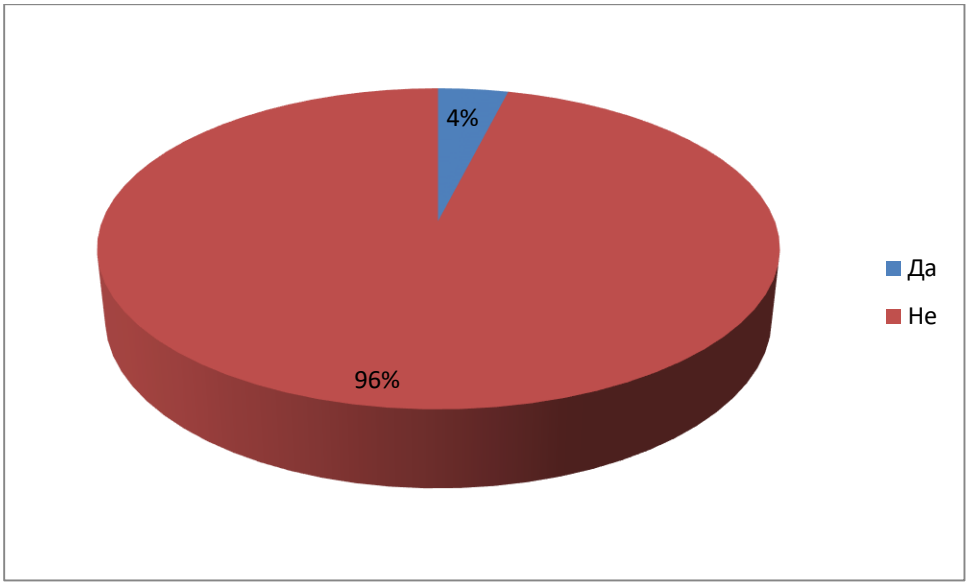
Ц4: Информисаност испитаника о познавању модела биљног пречишћавања употребљених вода:

Када је реч о познавању доступних иновативних технологија за пречишћавање употребљених вода фиторемедијацијом, очекивано, мали број се изјаснио да зна о каквом моделу је реч, свега 8 (3.92%) испитаника. Имајући у виду њихову ефикасност, а са друге стране ниску енергетску захтевност као и препоруку да је управо ово модел који се препоручује за мања насеља и индивируална домаћинства, указује на потребу подизања информисаности грађана о могућим начинима пречишћавања употребљених вода, а самим тим и на подизање квалитета живота у руралним

срединама. У прилог овоме говори и податак да чак 167 (81.86%) испитаника се изјаснило да жели да се информише о поменутом моделу пречишћавања употребљених вода.

Табела 4.8: Информисаност испитаника о познавању модела биљног пречишћавања употребљених вода

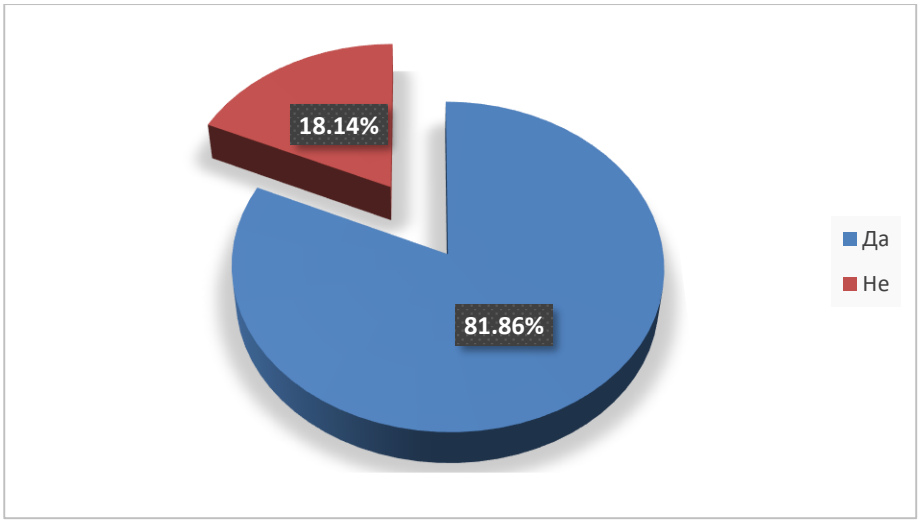
Да	8	3.92%
Не	196	96.08%
Укупан број испитаника = 204		



Слика 4.8: Информисаност испитаника о познавању модела биљног пречишћавања употребљених вода

Табела 4.9: Спремност испитаника о додатном информисању о моделу биљног пречишћавања употребљених вода

Да	167	81.86%
Не	37	18.14%
Укупан број испитаника = 204		



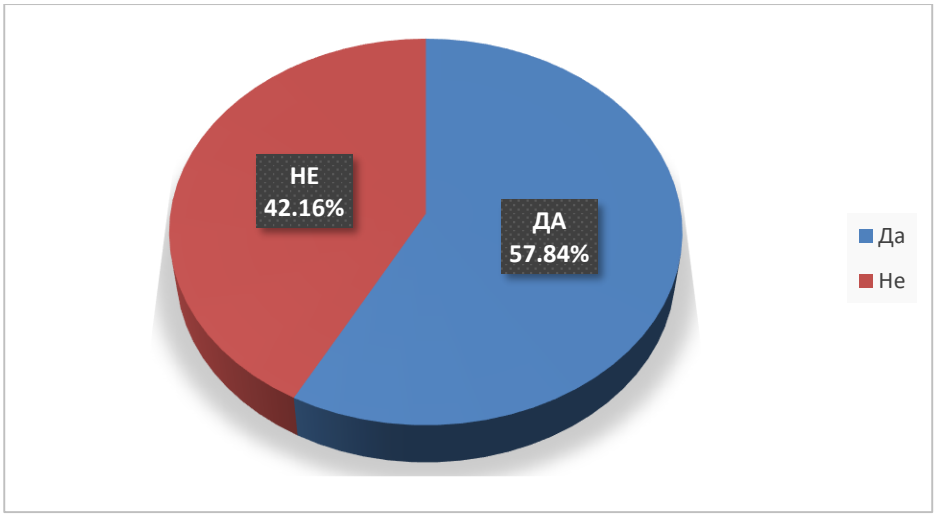
Слика 4.9: Спремност испитаника о додатном информисању о моделу биљног пречишћавања употребљених вода

Ц5: Спремност за примену иновативних решења за третман употребљених вода

За спремност да прихвате и примене иновативна решења за пречишћавање употребљених водасе изјаснило 118 (57.84%) испитаника. Имајући у виду да је мало број људи информисан о спсобности појединих биљних врста да врше пречишћавање отпадних вода, овај број је, свакако, оптимистичан, те указује жељу и спремност али и потребу да се овај проблем реши применом прихватљивих система.

Табела 4.10: Заинтересованост да се примене системи заснованих на употреби биљака које имају способност пречишћавања

Да	118	57.84%
Не	86	42.16%
Укупан број испитаника = 204		



Слика 4.10:. Заинтересованост да се примене системи заснованих на употреби биљака које имају способност пречишћавања

Закључак: Предмет овог истраживања био је испитивање ставова јавности у вези познавања проблема пречишћавања употребљених вода као и спремност на примену природног биљног модела пречишћавања употребљених вода. У складу са предметом истраживања, студија је имала пет циљева: да истражи ставове испитаника по питању загађења животне средине (1), да се добију информације о начину прикупљања и третмана употребљених вода у домаћинствима испитаника (2), колико су испитаници информисани о значају третмана употребљених вода (3), да се испита колико су испитаници упознати са моделом биљног пречишћавања употребљених вода (4), на крају истраживање је имало циљ и да испита спремност испитаника за примену иновативних решења за третман употребљених вода, однсоно примену природних биљних пречистача употребљених вода (5).

На основу резултата истраживања може се извући закључак да по питању загађења животне средине, испитанике, највише брине небезбедно водоснабдевање, док их скоро подједнако брине недостатак система за одношење комуналног отпада, као и недостатак система за пречишћавање употребљених вода.

Највећи проценат становништва на сеоском подручју, користи септичку јаму за одлагање употребљених вода. У градским и приградским насељима, већина испитаника, има прикључак на градску или локалну канализациону мрежу.

Анализом одговора испитаника, око 70 % сматра да је важно решавање питања одвођења и пречишћавања употребљених вода, што је сасвим очекивано имајући у виду да испитаници са сеоског подручја, где углавном нема канализационог система, су сами принуђени да решавају ово питање.

Када говоримо о моделу пречишћавања употребљених вода фиторемедијацијом, употребом природних биљних пречистача, веома мали број испитаника, око 4%, се изјаснио да зна да поједине биљне врста имају својство

пречишћавања употребљених вода (4). Са друге стране, показали су велику заинтересованост за даље информисање о поменутом моделу и начину примене (5).

Основна ограничења овог истраживања су мали обухват узорка. Истраживањем је обухваћен само град Краљево, односно 68 месних заједница. Импликације за будућа истраживања у овом аспекту могу да буду у погледу укључивања ширег узорка становништва и стратификовања узорка према обележјима основног скупа становника, по полу, старости и образовању. Такође корисно би било истраживање привредних субјеката посебно на сеоском подручју.

4.2 Критеријуми за одабир технологије третмана отпадних вода

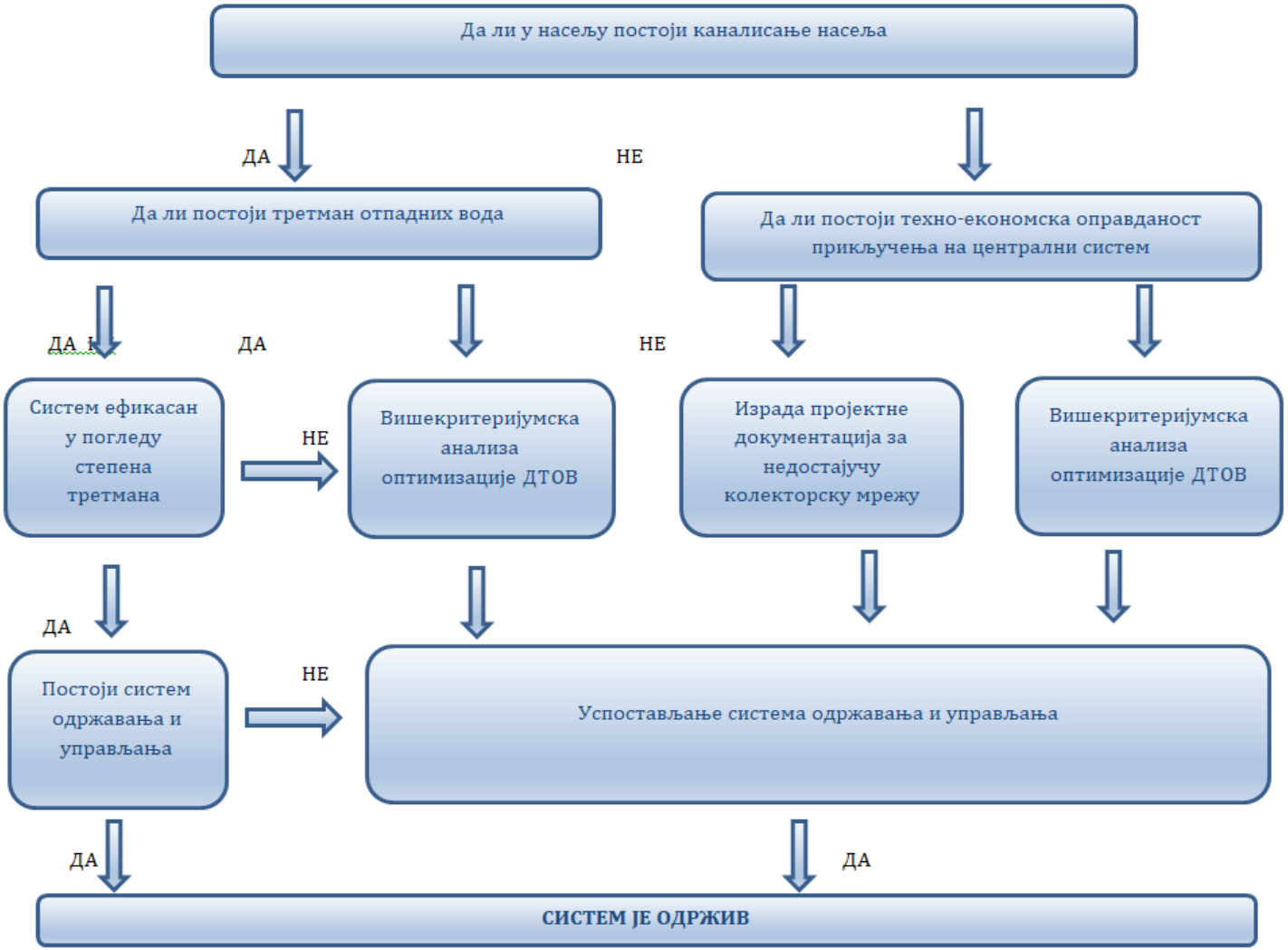
У циљу успостављања одрживости одвођења и третмана употребљених вода, потребно је извршити анализу фактичког стања на терену те применом вишекритеријумеске анализе донети одлуку даљег развоја санитације и каналисања насеља.

Први корак је анализа постојећег стања у насељу, односно провера да ли постоји изграђена канализациона мрежа и процена њеног стања. Такође, потребно је проверити на какав начин се врши третман отпадних вода. На територији града Краљева која је анализирана кроз овај рад, третман употребљених вода, сем делимично изграђеног централног пречистача, готово и да не постоји. Употребљена вода се канализационим системом директно одводи или до најближег реципјента или до септичке јаме из које се вода опет неконтролисано излива или прелива.

Следећи корак, је да се користећи вишекритеријумску анализу дефинише и одабере најоптималнији модел третмана отпадних вода, уз обавезно успостављање система управљања и одржавања система, јер је то један од услова успостављања одрживости система.

У случају да у анализираном насељу не постоји никаква канализациона мрежа, прво је потребно проверити удаљеност постојећег централног система за третман оптадних вода и извршити техно-економску оправданост прикључења на исту. У супротном потребно је, опет, уз помоћ вишекритеријумске анализе оптимизовати децентрализовани модел третмана употребљених вода уз обавезно успостављање управљања и одржавања система.

Све ово је графички приказано на следећој алгоритамској шеми.



Слика 4.11: Алгоритамска схема успостављања одрживости канализационог система насеља

Оптимални модел треба да буде економски одржив, са минималним негативним утицајем на животну средину и здравље људи, као и технички једноставан за одржавање[91]. Такође, мора бити у складу са важећим законским и регулаторним оквирима, а све у циљу постизања одрживости у економском, еколошком и социјалном контексту.

Економска одрживост подразумева да изабрана технологија пречишћавања отпадних вода буде финансијски прихватљива за крајњег корисника. Осим почетне инвестиције, треба пажљиво размотрити и трошкове одржавања[92][93]. За разлику од централизованих система који се пројектују за периоде од најмање 30 година, децентрализовани системи се, због своје осетљивости, пројектују на период од највише 15 година. Овај фактор мора бити узет у обзир при дефинисању потребних реинвестиција. Један од разлога неефикасног функционисања система може бити и висока цена одржавања, коју корисници нису у могућности да плаћају. Различите студије указују да трошкови услуга водоснабдевања и канализације не би требало да пређу 3% до 5% просечног прихода домаћинства, како би се обезбедила дугорочна одрживост система.

Еколошка одрживост подразумева да изабрани модел одговара стандардима заштите људског здравља и животне средине и да постиже потребан степен пречишћавања отпадних вода. Поред уклањања опасних материја и патогена, потребно је размотрити и могућност поновне употребе пречишћених отпадних вода, што је посебно важно у руралним подручјима где постоји потреба за наводњавањем обрадивих површина. Ово представља један од начина за затварање круга пречишћавања отпадних вода.

Социјално-институционална одрживост подразумева да крајњи корисници буду адекватно информисани и спремни да прихвате предложена решења. Модел који се усваја мора бити у складу са свим релевантним законима и прописима. Како је раније наглашено, након избора и изградње система, један од кључних корака је успостављање механизама за његово управљање и одржавање. У срединама где не постоји довољан број стручног кадра, потребно је осигурати да изабрани модел не захтева ангажовање високообразованог или специјализованог кадра, већ да локално становништво, уз минималну обуку, може управљати системом.

---

[91] *Dewberry, J., Sustainable Development and Decision-Making. Routledge, 2013.*

[92] *Bernal D., Restrepo I., Grueso-Casquete S., Key Criteria for Considering Decentralization in Municipal Wastewater Management, Heliyon, 7(3):e06375, doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e06375. PMID: 33869824; PMCID: PMC8035498, 2021.*

[93] Brzusek A., Widomski M.K., Musz-Pomorska A., Socio-Economic Aspects of Centralized Wastewater System for Rural Settlement under Conditions of Eastern Poland, Water, 14, 1667, 2022. https://doi.org/10.3390/w14101667

4.3 Анализа вишеструких критеријума – MCA (Multi-criteriaanalysis)

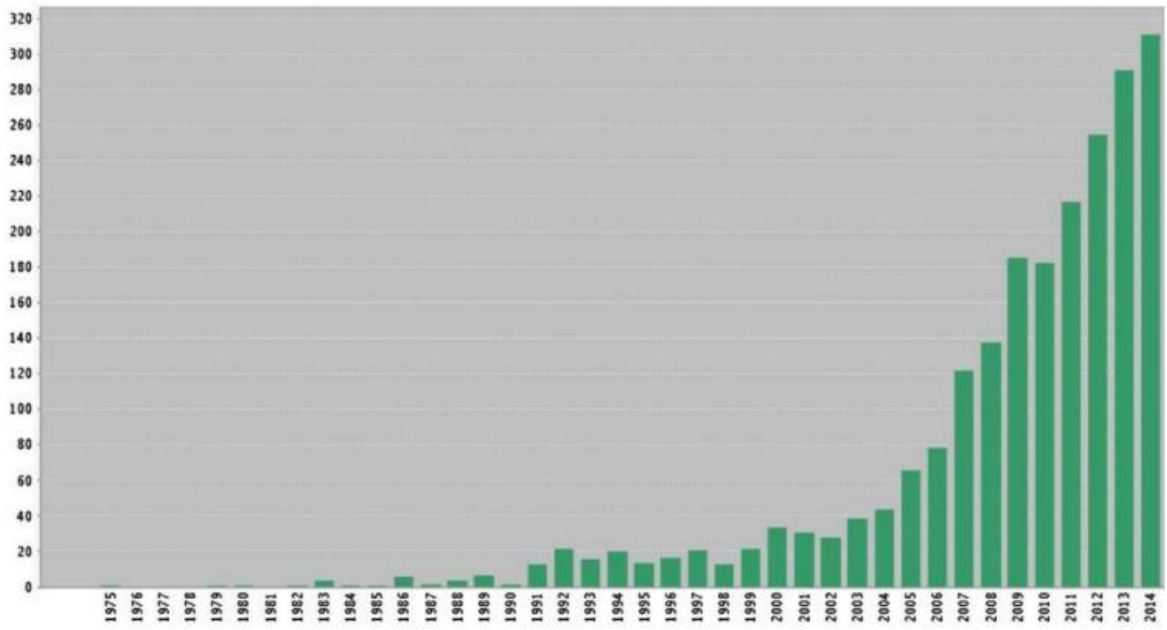
Од најранијих времена, људи су били приморани да доносе разноврсне одлуке и да изаберу критеријуме који ће им омогућити да пронађу најповољније решење. У том контексту, Питагора је изрекао чувену изјаву: „Избори су окови судбине“, која указује на дубоку повезаност одлука са током будућности. Ова изјава не само да илуструје важност избора у животном контексту, већ и одражава суштинску истину која је значајна у контексту савремених научних и инжењерских приступа који се односе на доношење одлука у сложеним системима.

Пројектовање децентрализованих система представља сложен процес који захтева разматрање великог броја фактора који имају значајан утицај на успостављање и одржавање функционалне одрживости система. У овом процесу, доносилац одлуке мора пажљиво анализирати сва доступна решења, спроводити детаљну квалитативну и квантитативну анализу и, на основу ових анализа, донети одлуку која ће испунити све постављене захтеве. У пракси је често присутан контрадикторан однос између економске подобности решења и његове еколошке рационалности или социјалне прихватљивости. То подразумева да економски прихватљива решења не морају увек бити у складу с принципима одрживости и социјалне правде.

У том смислу, мулти-критеријумска анализа представља кључни алат за избор најоптималнијег решења. Ова анализа омогућава свеобухватно разматрање и вредновање свих релевантних критеријума који су битни за доношење одлука. Кључна компликованост овог процеса састоји се у потреби да се размотре различити, често конфликтујући, критеријуми и могуће опције, што доводи до формирања сета потенцијалних решења. У контексту оптимизације система, важно је напоменути да мулти-критеријумска анализа сама по себи не даје „оптимално“ решење, већ служи као оквир који пружа дубље разумевање самог проблема и, самим тим, олакшава доношење објективније и ефективније одлуке[94].

Тиме се значајно побољшава процес одлучивања јер омогућава разматрање свих аспеката проблема, како би се избегао једностран приступ и осигурала дугорочна одрживост избора.

[94] *Saaty, T.L., The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resources Allocation. McGraw-Hill, 1980.*



Слика 4.12: Број публикација у периоду од 1950. до 2014. године у области вишекритеријумског одлучивања у процесу доношења одлука[95]

У овиру овог рада, извршена је анализа применом методе корисности PROMETHEE (*engl. Preference Ranking Organization Methodod for Enrichment Evaluation*), која представља једну од последњих, најкомплетнију и најсавременију софтверску имплементацију методе вишекритеријумске помоћи у одлучивању[96].

Ова метода омогућава систематско поређење како квалитативних, тако и квантитативних критеријума који имају различите степене значаја[97]. Коришћењем софтверских алата, овај процес се може извршити на крајње једноставан начин, што омогућава ефикасно доношење одлука[98]. Главне функције које ова метода пружа укључују[99]:

- Идентификацију најбоље могуће одлуке: Софтвер омогућава брзо и прецизно препознавање најоптималнијег решења на основу дефинисаних критеријума.
- Рангирање одлука: Могућност рангирања различитих решења од најповољнијег до најмање пожељног, чиме се лако пружа јасан преглед опција.
- Визуализацију проблема: Омогућава корисницима да визуелно представе проблеме и опције које имају на располагању, чиме се олакшава разумевање потенцијалних потешкоћа и конфликта у процесу доношења одлука.

---

[95] *Ballestero, Pérez-Gladish and Garcia-Bernabeu, 2015, стр. 14*
[96] *Brans J.P., Mareschal, B., Vincke Ph., How to Select and How to Rank projects: The Promoithee method, Europian Journal of Operational Research, 24(2):228-238., 1986.*
[97] *De Keyser W., Peeters P., A Note on the use of PROMETHEE Multicriteria Methods, European Journal of Operational Research, 89(3), 457–461. 1996.*
[98] *Brans J.P., Mareschal B., (1992), Promethee-V: MCDM Problems with Segmentation Constraints, vol. 30 (2), pp. 85-96*
[99] *Goodwin, P., & Wright, G., Decision Analysis for Management Judgment. Wiley, 2014.*

- Постизање консензуса: У случајевима када више доносилаца одлука има супротстављена мишљења, ова метода подстиче сарадњу и помаже у постизању заједничког става.

Основни подаци за ову анализу дефинишу се путем матрице одлучивања, у којој су (a_1, a_2,... a_n) представљају могући скуп решења или алтернатива, док ($к_1$, $к_2$,.. $к_k$) чине скуп релевантних критеријума који ће бити коришћени за процену сваке од опција. Ова структура омогућава јасну и организовану анализу која осигурава објективно доношење одлука и помаже у одређивању најоптималнијих решења.

Табела 4.11: Матрица одлучивања у оквиру Visual PROMOTHEE методе[100] [101]

АЛТЕРНАТИВЕ	**КРИТЕРИЈУМИ**			
	k1	**k2**	**...**	**k_k**
a1	k1(a1)	k2(a1)	...	kn(a1)
a2	k2(a1)	k2(a1)	...	kn(a2)
...	...	...	...	...
a_n	kn(a1)	kn(a1)	...	kn(a1)

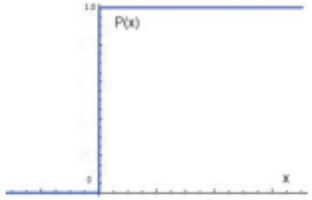
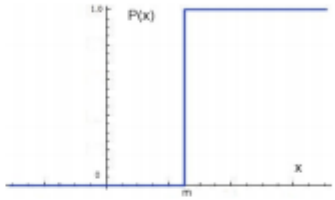
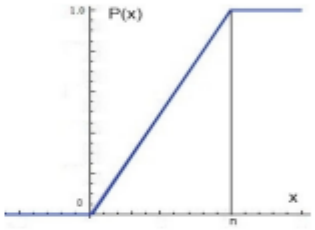
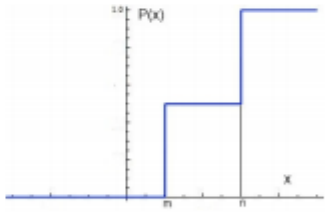
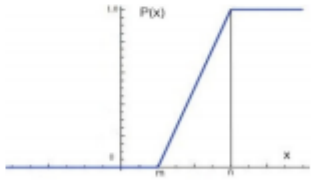
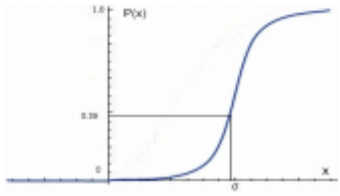
Visual PROMETHEE представља вишекритеријумску методологију за рангирање и евалуацију алтернативних решења. Ова метода омогућава доносиоцу одлука да систематски процени и упореди алтернативе на основу више критеријума, користећи математичке и визуелне алате. У наставку су детаљно описани кључни кораци неопходни за имплементацију ове методе[102].

1. **ПРВИ КОРАК: Дефинисање могућих решења и релевантних критеријума**
   Први корак подразумева идентификовање доступних алтернатива A={a_1,a_2,…,a_n} и утврђивање критеријума K={k_1,k_2,…,k_k} који ће бити коришћени за процену сваког решења. Потом одлучивач треба да дефинише фукције функије преференција Pj(d) за сваки критеријум која квантификује степен преференције једне алтернативе над другом. Методологија се базира на поређењу сваког пара алтернатива на основу раније дефинисаних критеријума. У овом процесу, одлучивач додељује преференцију једној од алтернатива, која може имати вредност између 0 и 1, што одражава степен преференције у односу на другу алтернативу.
   Постоје шест типова функција преференција[103] где:
   - Тип 1: Основна и једноставна функција која не садржи никакве параметре, и користи се веома ретко.;

[100] *Čupić M., Tummala R.V.M., Suknović M., Odlučivanje: Formalni pristup, FON, Beograd, 2001.*
[101] *J.P. Brans and P. Mareschal. The PROMETHEE GAIA decision support system for multicriteria investigations. Investigation Operativa, 1994.*
[102] *Brans, J. P., & Vincke, P.: A Preference Ranking Organisation Method: The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision-Making, Management Science, 31(6), 647-656, 1985.*
[103] *Brans, J.P., Vincke, Ph., Marechal, B. (1986) "How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method; European Journal of Operational Research, 24, 228-238*

- Тип 2: Функција у облику U, која садржи само праг индиферентности. Ова функција се користи када нема значајне разлике између алтернатива у оквиру датог критеријума;
- Тип 3: Функција у облику V, која садржи праг значаја преференције. Овде је преференција дефинисана као пропорционално одступање између алтернатива у интервалу од 0 до |m|;
- Тип 4: је функциоја облика нивоа и садржи прагове индиферентности n и значаја преференце m;
- Тип 5: Линеарна функција која садржи праг индиферентности, праг значаја преференције и пропорционално је одступању алтернатива;
- Тип 6. Гаусова функција и садржи само Гаусов праг значаја **σ**.. Ова функција се користи веома ретко.

У свим горе наведеним функцијама, параметар m представља праг индиферентности, који означава највеће одступање између две алтернативе на којем оне не разликују значајно једна од друге. Параметар n представља праг строге преференције, који означава најмање одступање између две алтернативе које се већ сматрају разликовима. Параметар **σ** (sigma) у Гаусовој функцији представља Гаусов праг значаја, који се користи да дефинише расподелу важности унутар одређеног опсега и обично се користи када су одступања сложенија и захтевају напредније моделирање.

Tip funkcije	Funkcija	Grafik	Parametri
I Standardna ili obična (*Usual shape*)	$P(x) = \begin{Bmatrix} 0, x \leq 0 \\ 1, x > 0 \end{Bmatrix}$		-
II U oblik (*U-shape*)	$P(x) = \begin{Bmatrix} 0, x \leq m \\ 1, x > m \end{Bmatrix}$		*m*
III Linearna V (*V -shape*)	$P(x) = \begin{Bmatrix} 0, & x \leq 0 \\ \frac{x}{n}, & 0 \leq x \leq n \\ 1, & x > n \end{Bmatrix}$		*n*
IV Nivo oblik (*Level-shape*)	$P(x) = \begin{Bmatrix} 0, & x \leq m \\ \frac{1}{2}, & m < x < n \\ 1, & x \geq n \end{Bmatrix}$		*m,n*
V Linearna V sa segmentom indiferentnosti (*V-shape with indifference*)	$P(x) = \begin{Bmatrix} 0, & x \leq m \\ \frac{x-m}{n-m}, & m < x \leq n \\ 1, & x > n \end{Bmatrix}$		*m,n*
VI Gaus (*Gaussian prefference*)	$P(x) = \begin{Bmatrix} 0, x < 0 \\ 1 - \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right), x \geq 0 \end{Bmatrix}$		σ

Слика 4.13: Типови функција преференције[104]

2. ДРУГИ КОРАК: Додељивање тежинских коефицијената

У следећем кораку се дефинишу пондери, односно тежински коефицијенти $W_j=(w_1, w_2,..., w_k)$. Тежински коефицијенти имају значајан утицај на коначни

[104] *Brans, J. P., & Vincke, P.: A Preference Ranking Organisation Method: The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision-Making, Management Science, 31(6), 647-656, 1985.*

резултат процеса одлучивања. Већа вредност wj указује на већи значај критеријума kj, што значи да ће алтернативе које имају боље перформансе на том критеријуму бити повлашћене у рангирању. Међутим, неопходно је пажљиво дефинисати тежине како би се избегле нежељене пристрасности или непотпуне процене. Постоји више метода за додељивање тежинских коефицијената, укључујући[105]:

- Директно одређивање: Доносилац одлука директно додељује тежине на основу субјективне процене.
- Упарено поређење: Користећи методе као што је Analytic Hierarchy Process (AHP), критеријуми се упоређују у паровима, а затим се израчунавају тежине на основу резултата поређења.
- Статистичке методе: У неким случајевима, тежине се могу одредити на основу статистичких података или експертских процена.

Додељене вредности морају бити нормализоване, односно:

$$\sum_{j=1}^{k} W_j = 1$$

3. **ТРЕЋИ КОРАК: Израчунавање позитивног и негативног тока**

На основу дефинисаних функција преференције и тежинских коефицијената, израчунавају се позитивни и негативни токови за сваку алтернативу. Нето ток представља кључни показатељ у Visual PROMETHEE методи који омогућава рангирање алтернатива на основу њихових укупних перформанси. Овај корак интегрише резултате добијене из позитивног (ϕ+(at)ϕ+(at)) и негативног тока (ϕ−(at)ϕ−(at)), пружајући комплетну слику о снагама и слабостима сваке алтернативе у односу на остале[106]. Рачунамо их преко следећих израза:

- Позитиван ток за алтернативу at (предствља снагу алтернативе):

$$\phi^{+}(a_t) = \frac{1}{n-1} \sum_{\substack{t'=1 \\ t' \neq t}}^{n} \pi((a_t, a_{t'})$$

- Негативан ток за алтернативу at (представља слабост алтернативе):

$$\phi^{-}(a_t) = \frac{1}{n-1} \sum_{\substack{t'=1 \\ t' \neq t}}^{n} \pi(a_{t'}, a_t)$$

При чему је n број алтернатива.

[105] *Saaty, T.L., The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resources Allocation. McGraw-Hill, 1980.*
[106] Figueira, J., Greco, S., & Ehrgott, M. (Eds.) (2005). Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys. Springer

4. **ЧЕТВРТИ КОРАК: Израчунавање нето тока и рангирање алтернатива**
Нето ток представља укупну вредност алтернативе и израчунава се као разлика позитивног и негативног тока, по следећој формули[107]:

$$\phi^{net}(a_t) = \phi^{+}(a_t) - \phi^{-}(a_t)$$

Рангирање алтернатива се врши по принципу већег нето тока алтернативе. Резултати рангирања могу се визуелно представити коришћењем PROMETHEE Гаусовог дијаграма или других графичких приказа[108]. Ови прикази олакшавају интерпретацију односа између алтернатива и пружају додатни контекст за доношење одлука.

4.4 Дефинисање критеријума и њихово пондерисање

Оцена одрживости децентрализованих система пречишћавања отпадних вода захтева испитивање различитих критеријума, који су подељени у економске, еколошке и социјалне факторе. Поред тога, ова процена интегрише перспективе и увиде свих релевантних заинтересованих страна, чинећи процес свеобухватним и инклузивним.

У циљу дефинисања матрице за оптимално решење третмана отпадних вода у руралним насељима, од пресудног значаја је правилан избор релевантних критеријума, као и њихово јасно дефинисање и додељивање тежинских коефицијената, с обзиром на то да су могућа решења већ дефинисана. Критеријуми треба да обухвате све релевантне факторе који утичу на избор најпогодније методе третмана отпадних вода у децентрализованом систему[109].

У овом истраживању, избор критеријума укључивао је сараднички процес са кључним заинтересованим странама, који је спроведен кроз серију четири радионице одржане у руралним заједницама на подручју града Краљева. Радионице су спроведене у периоду од марта до маја 2019. године и то у: општини Врњачка Бања, МЗ Лопатница, МЗ Витковац као и у Градској управи града Краљева, са укупно 134 учесника. Током округлих столова, учесницима је презентован значај пречишћавања употребљених вода; дат преглед доступних технологија за пречишћавање са посебним освртом на модел пречишћавања употребом природних биљних пречистача. Током ових радионица, учесници су стекли знање о значају пречишћавања отпадних вода и били су упознати са прегледом различитих технологија доступних за децентрализоване системе пречишћавања. Након презентација, учесници су поделили своја виђења, што је довело до идентификације и пондерисања најрелевантнијих критеријума за избор модела. Сви идентификовани критеријуми били су груписани у три кластера: економске, еколошке и социјалне. Инвентаризација ових критеријума, заједно са

---

[107] *Behzadian, M., Kazemzadeh, R. B., Albadvi, A., & Aghdasi, M.: PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. European Journal of Operational Research, 200(1), 198-215, 2010.*
[108] *Mareschal, B., & Brans, J. P.: Geometrical representations for MCDA: The GAIA module. European Journal of Operational Research, 34(1), 69-77, 1988.*
[109] *Doan, N.A.V., Smet, Y. De. An alternative weight sensitivity analysis for PROMETHEE II rankings. Omega, 80. 2018.*

њиховим објашњењима, који су колективно утврђени током округлих столова, сажета је у табели 4.12.

Табела 4.12: Опис критеријума за оптимизацију модела постројења за третман отпадних вода у децентрализованим системима у руралним срединама

КРИТЕРИЈУМ	ОПИС КРИТЕРИЈУМА	Кластер / Јединица
К1: Цена изградње	Обухвата вредност израде пројектне документације, прибављање потребних услова, сагласности и решења о одбрењу за изградњу, набаку опреме и материјала као и изградњу комплетног система.	Економски / (евро)
К2: Трошкови одржавања	Обухвата цену енергената, хемикалија, резервне опреме и материјала, финансијска надокнада људи који ће радити на одржавању система. Позицијом обухваћена и могућа реинветсиција система за период од 15 година. Један од важних услова одрживости система је одабир система који ће достизати захтеван ниво третмана употребљене воде уз што мање потребе за енергијом.	Економски / (евро
К3: Расположивост земљишта	Имајући у виду да поједини системи захтевају знатно већу површину, неопходно је размотрити доступност, односно расположивост земљишта. У случају недостатка земљишта или његове превисоке цене откупа, предност имају системи који захтевају што мању површину.	Еколошки / (квалитативна оцена)
К4: Ефикасностсистема	У зависности од крајњег места испуштања отпадних вода – реципјента, дефинише се и захтеван степен ефлуента, уз посебан осврт да ли се ради о осетљивим подручјима где се захтева виши, односно терцијарни третман употребљених вода.	Еколошки / (квалитативна оцена)
К5: Захтев за кадром и сложеност управљања система	У циљу постизања одрживости оваквих система, изузетно је важно да за рад истих није потребно видоко образован кадар, као ни кадар са посебним обученошћу, јер у оваквим срединама јеуправо наглашен проблем недостатка кадра. Овакве средине су често и прилично удаљене	Социјални / (квалитативна оцена)

	од урбаних средина, те у случају испада из рада система када је неопходна интервенција специјализованих људи за поновно пуштање у рад, може настати значајан временски интервал, што може изазвати значајне последице не животну средину.Дакле, пожељно је да систем буде што лакши и једноставнији за разумевање, а и одржавање, те да га крајњи корисници могу сервисирати без ангажовања специјалних предузећа.	
К6: Прихватљивост решења од стране крајњих корисника	Како је рад система у зависности од крајњих корисника, који ће бити задужени за праћење и управљање радом, указује на неопходност добре информисаности мештана о значају ових система на животну средину и њихове спремности да исти прихвате. У руралним срединама питање доступности земљишта углавном није проблем, али кроз досадашње пројекте на којима сам лично радила као и кроз разговор са крајњим корисницима током одржаних округлих столова, јасно се издвојио синдром НЕ У МОМ ДВОРИШТУ, односно мештани не желе оваква постројења близу својих објеката.	Социјални / (квалитативна оцена)

Након што су дефинисани релевантни критеријуми, наредни корак у процесу мулти-критеријумске анализе јесте одређивање функција преференције за сваки од ових критеријума. Ове функције преференције имају за циљ да одреде степен задовољства или предности који одређени алтернативни системи пречишћавања отпадних вода пружају у контексту сваког критеријума. У овом случају, за критеријуме који се односе на цену изградње и трошкове одржавања система, као мерила су коришћене нумеричке вредности које омогућавају јасно поређење између различитих решења на основу економских параметара. Нумеричке вредности су одређене према расположивим подацима и стандардима који се примењују у индустрији, и представљају директну метрику која омогућава квантитативну процену и поређење трошкова.

Са друге стране, за остале критеријуме који се тичу, на пример, еколошких и техничких аспеката, као и квалитета живота у руралним подручјима, коришћена је квалитативна скала (табела 4.13). Ова скала је дефинисана у складу са стручним

оценама, искусним проценама стручњака и консултацијама са релевантним заинтересованим странама. Табела која следи садржи ову квалитативну скалу која подразумева категоризацију резултата према степену адекватности решења у односу на конкретне аспекте, као што су утицај на животну средину, дуговечност система, једноставност одржавања, као и прилагођеност локалним условима.

Таква квалитативна процена омогућава бољу интеграцију различитих типова података који се не могу лако квантитативно изразити, али су истовремено веома важни за свеобухватну процену оптималности решења. Укупно, одређивање функција преференције за сваки критеријум осигурава објективан и систематичан приступ анализи, омогућавајући доносиоцима одлука да добију уравнотежену и информисану процену свих алтернатива, уз пуну свест о економским и нефинансијским аспектима.

Табела 4.13: Квалитативна скала са 5 оцена

Ниво	***Ознака***	***Вредност***
1	Врло лоше	1
2	Лоше	2
3	Просек	3
4	Добро	4
5	Врлодобро	5

Табела 4.14: Матрица одлуке са тежинским коефицијентима за PROMOTHEE

	Економски		***Еколошки***		***Социјални***	
	K1	***K2***	***K3***	***K4***	***K5***	***K6***
	min	***min***	***max***	***max***	***max***	***max***
Тежински коефицијент	0.30	0.20	0.10	0.10	0.20	0.10
SBR	290 еура	1.70 еура	90.00 %	4	4	4
MBR	525 еура	2.50 еура	99.00%	3	1	2
MBBR	425 еура	1.90 еура	90.00 %	4	2	3
Фиторемедијација	185 еура	0.10 еура	85.00%	1	5	4

Функција преференције је одређена на основу разлике у вредности алтернативног критеријума аи са осталим алтернативама као и с = 1, 2, 3, 4 с обзиром на сваки критеријум кj, j = 1,...6. Специфичне функције преференције за сваки критеријум су детаљно приказане у табелама 4.15 – 4.18.

Табела 4.15: Одређивање функције преференције за опцију 1

k_j	a_j	a_s	$x=k_j(a_i)- k_j(a_s)$	$p_j(a_i, a_s)$
k_1 тип V (мин)	Опција 1	2 3 4	290 – 525 = -235 290 – 425 = -135 290 – 185 = 105	1 1 0
k_2 тип V (мин)		2 3 4	1.70 - 2.50 = -0.80 1.70 - 1.90 = -0.20 1.70 - 0.10 = 1.60	1 1 0
k_3 тип I (макс)		2 3 4	90 – 99 = -9 90 – 90 = 0 90 – 85 = 5	1 0 0
k_4 тип II (макс)		2 3 4	4 – 3 = 1 4 – 4 = 0 4 – 1 = 3	0 0 0
k_5 тип III (макс)		2 3 4	4 – 1 = 3 4 – 3 = 1 4 – 5 = -1	0 0 1
k_6 тип I (макс)		2 3 4	4 – 1 = 3 4 – 4 = 0 4 – 5 = -1	0 0 1

Табела 4.16: Одређивање функције преференције за опцију 2

k_j	a_j	a_s	$x=k_j(a_i)-k_j(a_s)$	$p_j(a_i, a_s)$
k_1 тип V (мин)	Опција 2	2 3 4	525 – 290 = 235 525 – 425 = 100 525 – 185 = 340	0 0 0
k_2 тип V (мин)		2 3 4	2.50 - 1.70 = 0.80 2.50 - 1.90 = 0.60 2.50 - 0.10 = 2.40	0 0 0
k_3 тип I (макс)		2 3 4	99 – 90 = 9 99 – 90 = 9 99 – 85 = 14	0 0 0
k_4 тип II (макс)		2 3 4	3 – 4 = -1 3 – 4 = -1 3 – 1 = 2	1 1 0
k_5 тип III (макс)		2 3 4	1 – 4 = -3 1 – 3 = -2 1 – 5 = -4	1 1 1
k_6 тип I (макс)		2 3 4	1 – 4 = -3 1 – 4 = -3 1 – 5 = -4	1 1 1

Табела 4.17: Одређивање функције преференције за опцију 3

k_j	a_j	a_s	$x=k_j(a_i)-k_j(a_s)$	$p_j(a_i, a_s)$
k_1 тип V (мин)	Option 3	2 3 4	425 – 290 = 135 425 – 525 = 100 425 – 185 = 240	0 1 0
k_2 тип V (мин)		2 3 4	1.90 - 1.70 = 0.20 1.90 -2.50 = -0.60 1.90 - 0.10 = 1.80	0 1 0
k_3 тип I (макс)		2 3 4	90 – 90 = 0 90 – 99 = -9 90 – 85 = 5	0 1 0

k_4 тип II (макс)		2 3 4	4 – 4 = 0 4 – 3 = 1 4 – 1 = 3	0 0 0
k_5 тип III (макс)		2 3 4	2 – 4 = -2 2 – 1 = 1 2 – 5 = -3	1 0 1
k_6 тип I (макс)		2 3 4	4 – 4 = 0 4 – 1 = 3 4 – 5 = -1	0 0 1

Табела 4.18: Одређивање функције преференције за опцију 4

k_j	a_j	a_s	$x=k_j(a_i)-k_j(a_s)$	$p_j(a_i, a_s)$
k_1 тип V (мин)	Опција 4	2 3 4	185 – 290 = -105 185 – 525 = -340 185 – 425 = -240	1 1 1
k_2 тип V (мин)		2 3 4	0.10 - 1.70 =-1.60 0.10 - 2.50 = -2.40 0.10 - 1.90 = -1.80	1 1 1
k_3 тип I (макс)		2 3 4	85 – 90 = -5 85 – 99 = -14 85 – 90 = -5	1 1 1
k_4 тип II (макс)		2 3 4	1 – 4 = -3 1 – 3 = -2 1 – 4 = -3	1 1 1
k_5 тип III (макс)		2 3 4	5 – 4 = 1 5 – 1 = 4 5 – 3 = 2	0 0 0
k_6 тип I (макс)		2 3 4	5 – 4 = 1 5 – 2 = 3 5 – 4 = 1	0 0 0

4.5 Позиционирање одабране технологије третмана отпадних вода

Следеће слике и табеле представљају резултате добијене из мулти-критеријумске анализе пажљиво одабраних релевантних критеријума за рурална подручја у оквиру јурисдикције града Краљева у Србији. Након свеобухватне процене свих критеријума, студија је показала да су природна биљна постројења заснована на фиторемедацији најоптималније решење, док су следећа по редоследу била SBR, MBR, а као најмање повољно решење, MBBR.

За разлику од традиционалних метода, софтверски програм Visual PROMETHEE значајно олакшава процес анализе и помаже у сагледавању значаја и утицаја сваког од критеријума на одабир најоптималнијег решења. Овај алат пружа могућност детаљног моделирања различитих алтернатива у контексту вишеструких критеријума, што омогућава доносиоцима одлука да донесу објективну и информисану одлуку[110]. У овом конкретном случају, акценат није био стављен само на максималну ефикасност решења, већ и на испуњавање правних захтева који се односе на максимално дозвољене вредности за емисије и отпадне воде. Такође, велики акценат је стављен на минимизацију потребних финансијских ресурса и недостатак потребе за висококвалификованим људским кадром за одржавање система.

Наглашено је да је у овом процесу од кључне важности узети у обзир све релевантне факторе који могу утицати на избор најпогоднијег решења. То укључује не само критеријуме који су већ идентификовани, већ и додатне факторе који могу имати значајан утицај на избор система. Стога, за сваки појединачни случај, неопходно је спровести свеобухватну анализу која укључује различите аспекте, уз обавезно укључивање доносилаца одлука из локалне заједнице и крајњих корисника система. Тиме се обезбеђује да решење буде што је могуће боље прилагођено специфичним потребама и условима одређеног подручја.

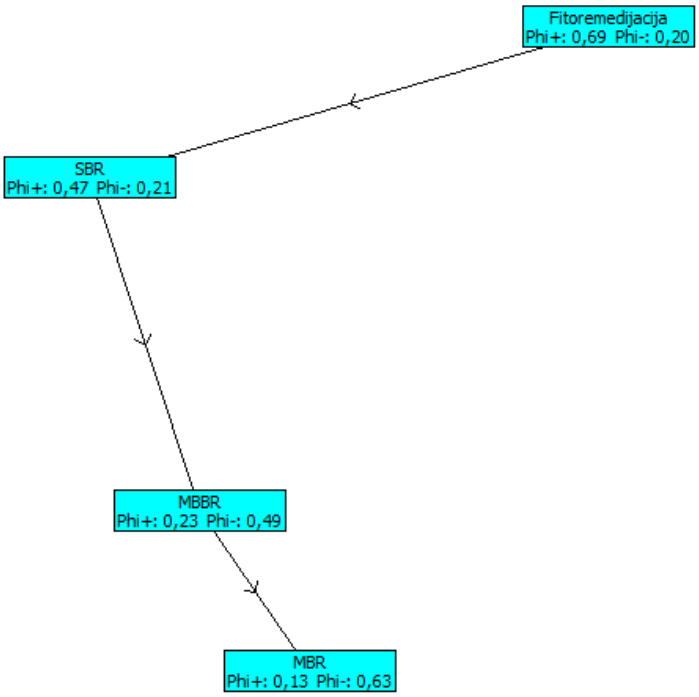
Рангирање алтернатива за модел случаја града Краљева представљено је у табели 4.19. Ово рангирање узима у обзир свеобухватну процену различитих критеријума и одражава заједничке напоре доносилаца одлука и локалних актера у обезбеђивању прикладности изабраног система пречишћавања отпадних вода.

Табела 4.19: Комплетно рангирање алтернатива

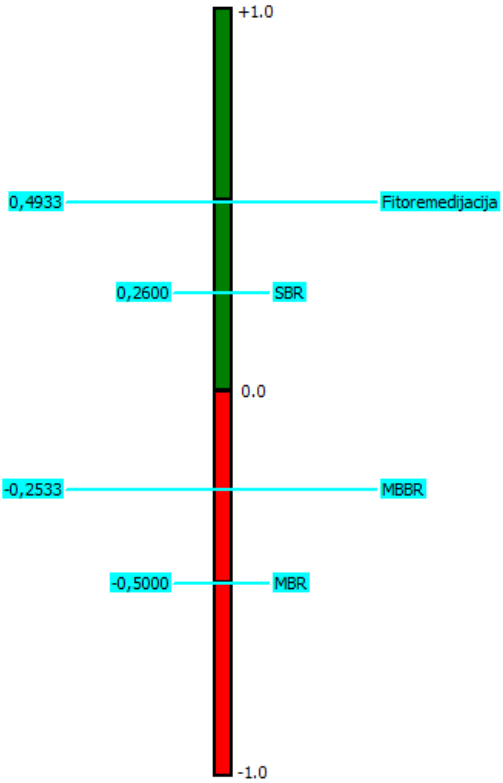
Опција	***T+***	***T-***	***T***	***Ранг***
Опција 1 - SBR	*0.47*	*0.21*	*0.26*	***2***
Опција 2 - MBR	*0.13*	*0.63*	*-0.50*	***4***
Опција 3 - MBBR	*0.23*	*0.49*	*-0.26*	***3***

[110] *J.P. Brans and B. Mareschal. The PROMETHEE VI procedure. How to differentiate hard from soft multicriteria problems. Journal of Decision Systems, 1995.*

Опција 4 - фиторемедијација	*0.69*	*0.20*	*0.49*	***1***

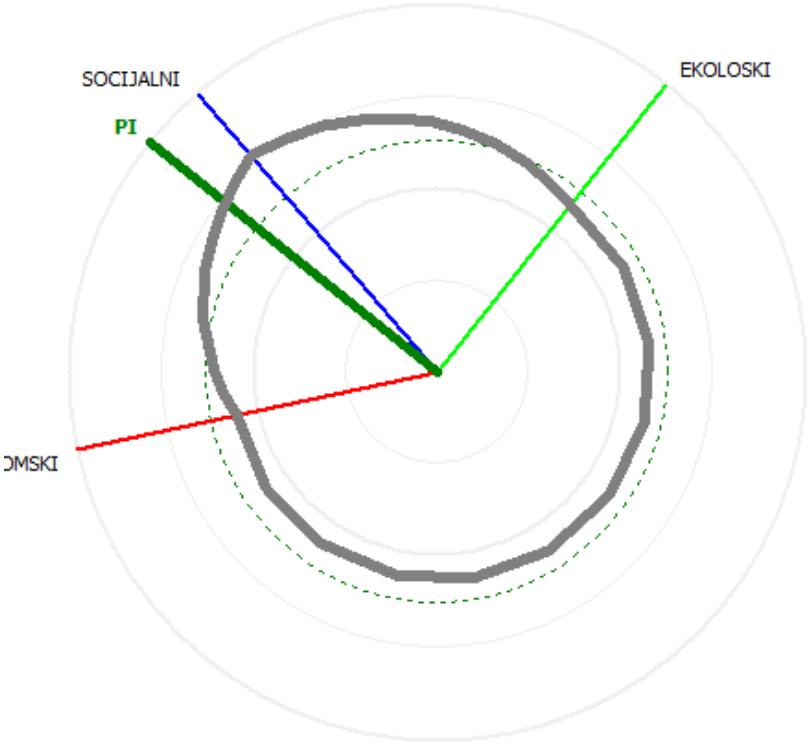


Слика 4.14: Графички приказ рангирања опција са позитивним и негативним током

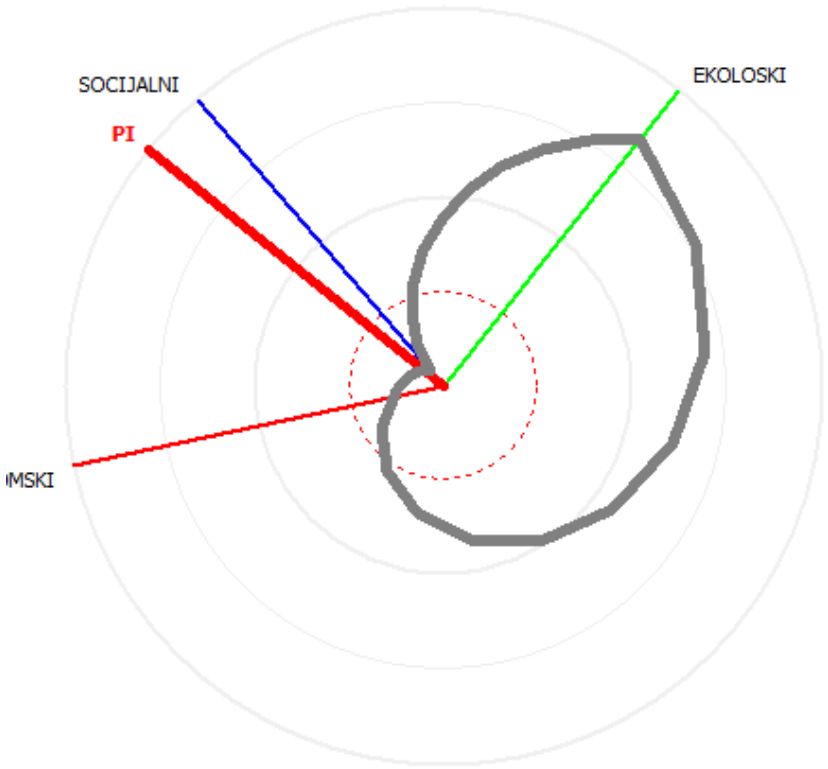


Слика 4.15: Графички приказ комплетног рангирања

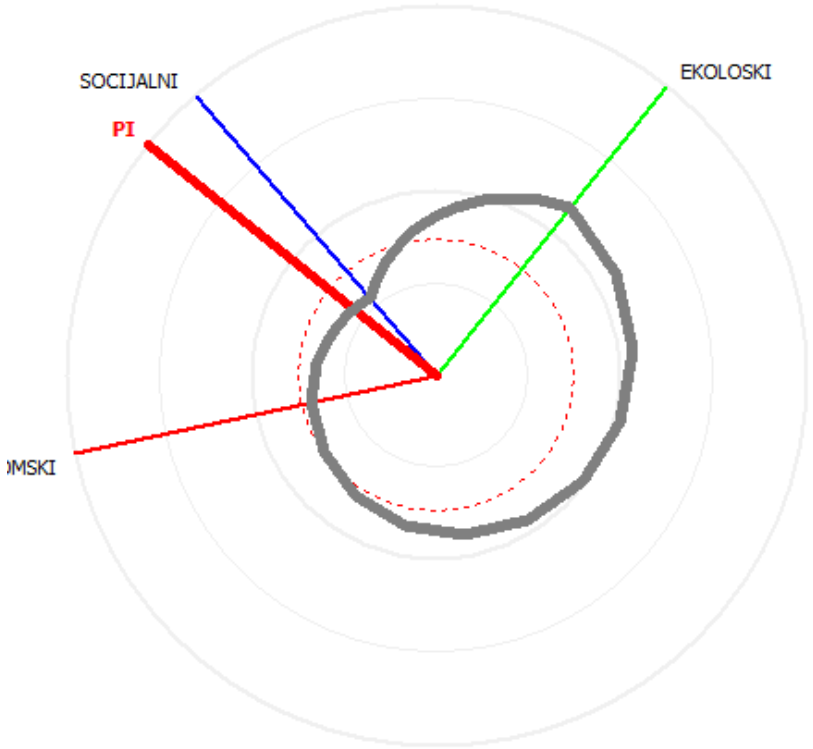
Слика 4.16: Приказ јачине опције фиторемедијација GAIA – пауковом мрежом



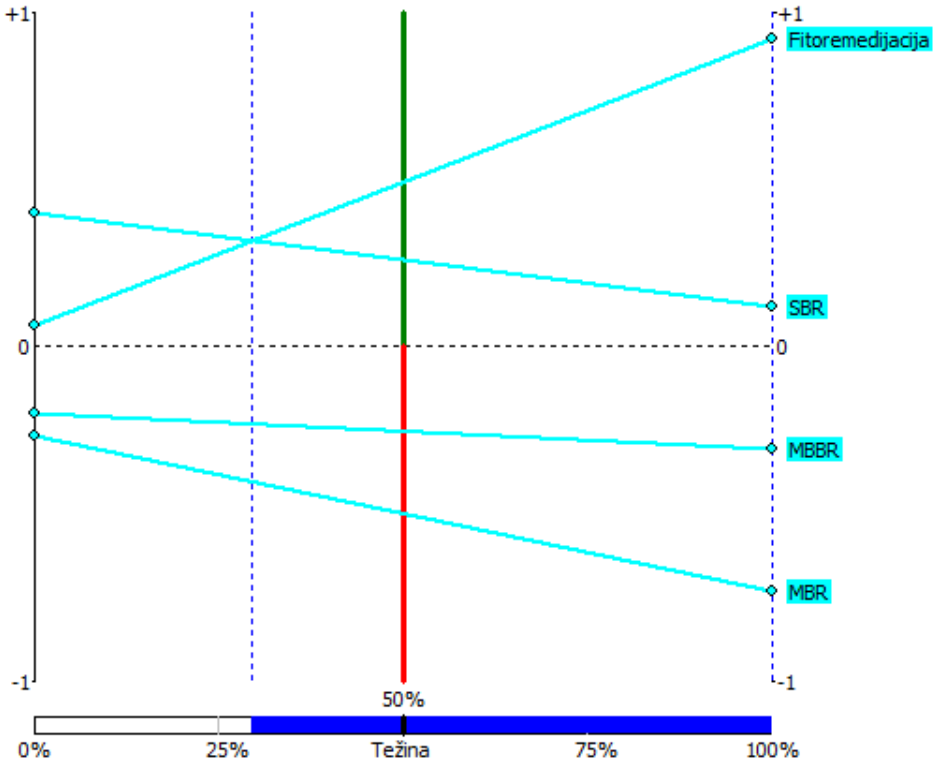
Слика 4.17: Приказ јачине опције SBR GAIA – пауковом мрежом



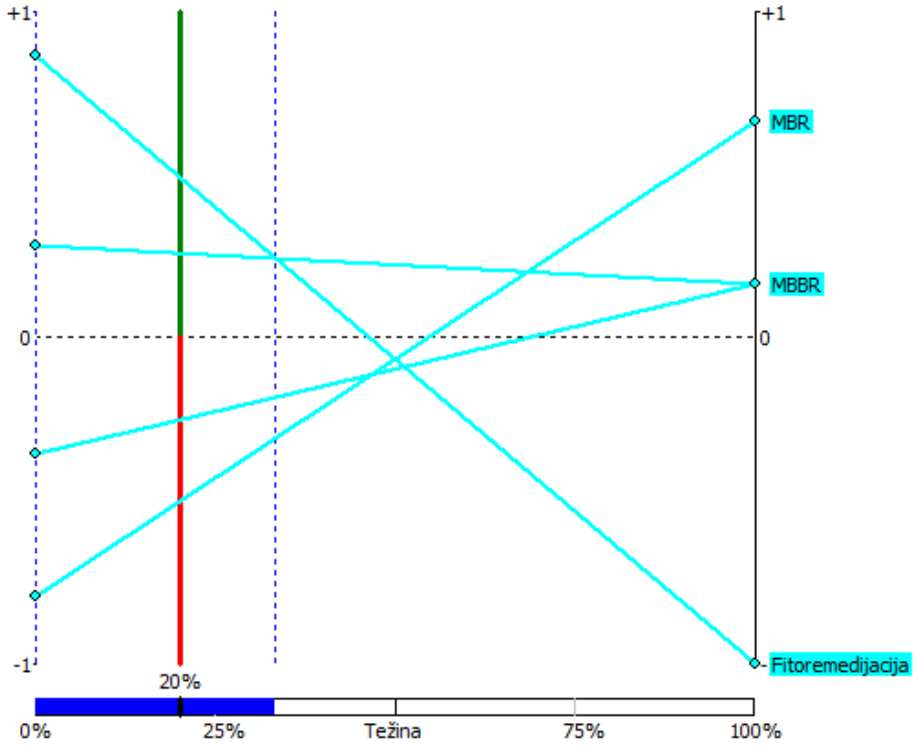
Слика 4.18: Приказ јачине опције MBR GAIA – пауковом мрежом



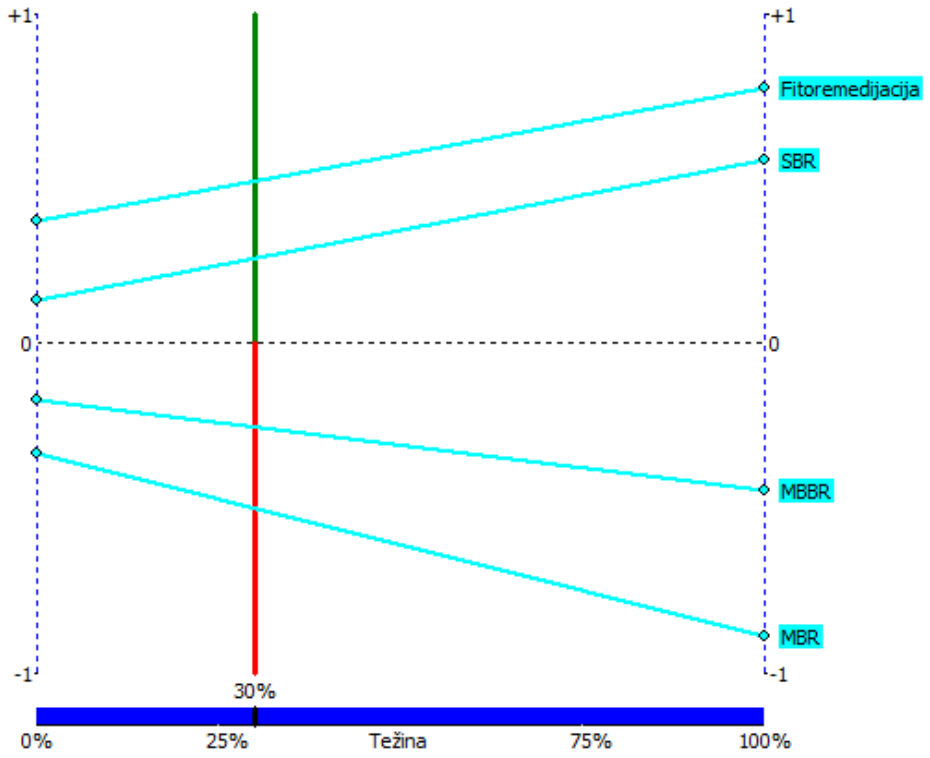
Слика 4.19: Приказ јачине опције MBBR GAIA – пауковом мрежом



Слика 4.20: Визуелни интервали стабилности – економски кластер



Слика 4.21: Визуелни интервали стабилности – еколошки кластер



Слика 4.22: Визуелни интервали стабилности – социјални кластер

Поглавље 5: СТУДИЈА СЛУЧАЈА

5.1 Специјални резерват природе Засавица

Током израде овог рада, урађена је пројектно-техничка документација као и санација и доградња система за пречишћавање отпадних вода у оквиру комплекса специјалног резервата природе Засавица. Засавица припада општини Сремска Митровица и налази се на подручју јужне Војводине и северне Мачве, источно од реке Дрине и јужно од реке Саве. Овај простор је изузетно важан као природно подручје које има велику еколошку и биолошку вредност, те представља један од најзначајнијих екосистема у овом региону.

Простором доминира речни биотоп који чини речица Засавица и њена притока Батар, које се протежу на укупној дужини од 33,1 км. У оквиру овог подручја, еколошки низови се смењују, што обухвата водене и мочварне екосистеме, као и фрагменте поплавних ливада и шума. Ови екосистеми пружају дом бројним биљним и животињским врстама, неке од којих су угрожене и под посебном заштитом.

Због своје велике природне вредности и биодиверзитета, Засавица је проглашена за специјални резерват природе, што подразумева његову заштиту и очување у складу са највишим еколошким стандардима. Како би се одржала и унапредила овај екосистем, било је неопходно извршити санацију и доградњу система за пречишћавање отпадних вода, чиме се обезбеђује минималан утицај на животну средину и спречавају потенцијални негативни ефекти који би могли угрожавати ову осетљиву област.

Овим радом су, поред техничке документације, разматрани и еколошки аспекти, као и утицаји различитих технологија третмана отпадних вода на локалне екосистеме, чиме је обезбеђено да нови систем буде у складу са захтевима заштите природе и очувања биодиверзитета.

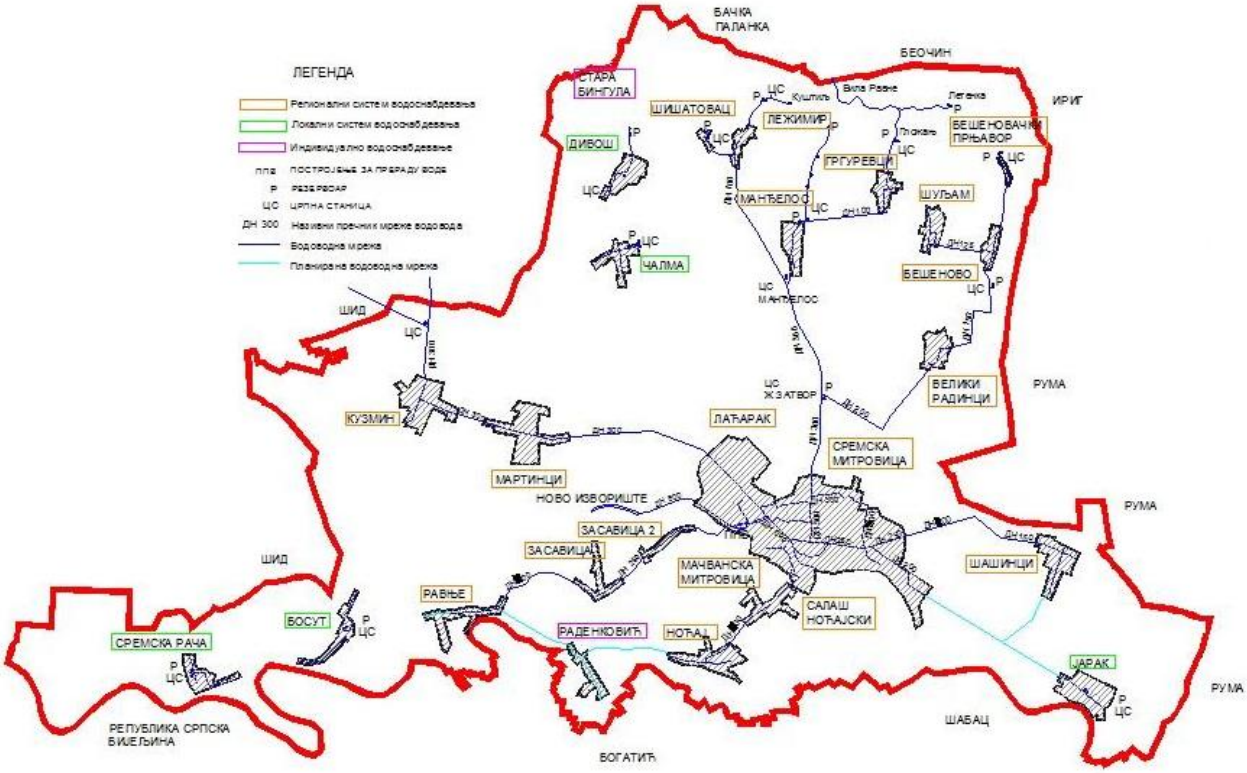
Слика 5.1: Положај специјалног резервата природе Засавица[111]

5.2 Анализа постојећег стања водоснабдевања и третмана отпадних вода

Водоснабдевање специјалног резервата природе Засавица решено је прикључењем на централни јавни водоводни систем општине Сремска Митровица. Овај систем обезбеђује стабилно снабдевање водом за потребе како људи који живе и раде у овом подручју, тако и за одржавање екосистема који чине специјални резерват. Кроз прикључење на овај јавни водоводни систем, решен је проблем снабдевања водом, што је од кључне важности за функционисање свих активности у овом природном заштићеном подручју.

[111] *Википедија* https://sr.wikipedia.org/sr-ec/

Узимајући у обзир специфичне еколошке потребе овог резервата, посебно се водило рачуна о томе да водоснабдевање буде у складу са захтевима заштите животне средине, као и одрживог коришћења природних ресурса.



Слика 5.2: Шема водоснабдевања[112]

У близини предметне локације не постоји изграђена јавна фекална канализациона мрежа, на коју би се могло извршити прикључење објеката из комплекса Засавице. Ова чињеница представља значајан изазов у контексту управљања отпадним водама, с обзиром на ограничене опције за директно повезивање са јавним инфраструктурним системима. Уместо тога, у оквиру комплекса постоји изграђен локални систем за прикупљање употребљених вода из свих објеката, укључујући ресторан са кухињом, апартмански део и тоалете за посетиоце резервата. Ова употребљена вода одводи се до постојеће септичке јаме, која је изграђена на самој локацији комплекса.

Међутим, постојећи систем за пречишћавање отпадних вода није у потпуности одговарајући у смислу еколошких стандарда. Наиме, постојећа септичка јама није изграђена као водонепропусна, што је довело до делимичног одлива пречишћених отпадних вода у подземље. Ово може имати озбиљне последице по локалну животну средину, јер се контаминирају подземне воде, чиме се угрожава квалитет воде која се користи за различите потребе, укључујући пиће и наводњавање. Такође, непрописно

[112] *47. ЈКП „Водовод“ Сремска Митровица. На сајту: https://vodovodsm.rs/o-nama/vodosnabdevanje-80-000-stanovnika*

функционисање септичке јаме може довести до нарушавања квалитета земљишта, што има директне негативне ефекте на биодиверзитет и здравље локалне флоре и фауне.

Поред еколошких ризика, могу се јавити и непријатни смрадови који су последица непотпуног пречишћавања и неадекватног одвођења отпадних вода. Појава ових специфичних и неугодних мириса може утицати на квалитет боравка посетиоца у резервату и нарушити туристичку понуду, што је додатни фактор који захтева пажљиву процену и увођење адекватних мера за побољшање система за пречишћавање отпадних вода.

У складу с овим чињеницама, неопходно је предузети мере санације и модернизације система за прикупљање и пречишћавање отпадних вода у комплексу Засавица. Ове мере треба да буду у складу са актуелним еколошким стандардима и прописима, како би се обезбедила одрживост заштите животне средине и побољшао квалитет туристичке понуде и животних услова у овом значајном природном подручју.

5.3 Пројектно решење са индикаторима ефикасности рада система

Имајући у виду значај комплекса Засавица, како као природног резервата природе, тако и као важног туристичког комплекса, јавила се потреба за пројектовањем система који ће бити у стању да испуни све прописане критеријуме. Ови критеријуми обухватају три кључна аспекта: економски, еколошки и социјално-институционални, који су од суштинског значаја за обезбеђивање одрживости комплекса и минимизирање потенцијалних негативних утицаја на животну средину, као и за побољшање искуства посетилаца и локалне заједнице.

У економском смислу, систем мора бити економски оправдан, обезбеђујући рационално коришћење ресурса и минимизирање оперативних трошкова, али и могућност поновног коришћења и рециклирања отпадних материја, што је у складу са принципима циркуларне економије. На овај начин, пројектовани систем треба да буде финансијски одржив, узимајући у обзир не само почетне инвестиције, већ и дугорочне трошкове одржавања.

Еколошки аспект система се односи на минимизирање утицаја на природну средину и очување еколошке равнотеже у комплексу. У овом контексту, посебан акценат стављен је на развој система који ће бити у могућности да потпуно елиминише производњу отпадних вода, што подразумева примјену савремених технологија за рециклажу и третман воде. Овакав приступ је посебно значајан с обзиром на значај овог подручја за биодиверзитет и као станиште за бројне угрожене врсте.

Социјално-институционални аспект подразумева укључивање свих релевантних заинтересованих страна, укључујући локалне власти, управљаче природним добрима, као и широку јавност. Сарадња са локалним институцијама и организацијама, као што је Покрет Горана, омогућава дубље разумевање специфичних

потреба и изазова у овом природном резервату, као и стварање платформе за едукацију и подизање свести о значају одрживог управљања природним ресурсима.

Након пажљиве анализе постојећег система за прикупљање и пречишћавање отпадних вода, који није у потпуности задовољавао прописане еколошке стандарде, и у сарадњи са управљачем природног добра Засавица, дефинисани су конкретни критеријуми који ће бити основа за пројектовање новог система. Ови критеријуми, који су детаљно изложени у табели 5.1, представљају основу за даље техничке и еколошке процене, као и за развој решења која ће бити у складу са највишим еколошким и технолошким стандардима, уз максимално поштовање економских и социјалних аспеката.

Пројектовање система за пречишћавање и управљање отпадним водама у комплексу Засавица тако представља свеобухватан и интегрисан приступ који је осмишљен како би се унапредила одрживост, уштеде и еколошка заштита, у складу са највишим стандардима за заштиту природе и побољшање живота локалних заједница.

Табела 5.1: Опис критеријума за оптимизацију модела постројења за третман отпадних вода у Засавици

КРИТЕРИЈУМ	ОПИС КРИТЕРИЈУМА	Кластер / Јединица
К1: Цена изградње	Израда пројектне документације и прибављање потребних решења о одобрењу за изградњу је урађено у склопу овог рада, те исто није имало утицаја на одабир система. Буџет је био ограничен и износио је 15.000 евра, те је пројектовано решење морало да се уклопи и исти.	Економски / (евро)
К2: Трошкови одржавања	Критеријум од високог значаја за крајњег корисника. Изабрано решење је пожељно да буде оно са најнижом ценом у име трошкова одржавања (утрошак електричне енергије, хемикалије, резервна опрема, финансијска надокнада људи који ће радити на одржавању система).	Економски / (евро
К3: Расположивост земљишта	Имајући у виду предметну локацију, захтевана површина није од значаја за избор оптималног система третмана отпадних вода.	Еколошки / (квалитативна оцена)
К4: Ефикасностсистема	Од стране крајњег корисника, али и због осетљивости самог подручјка, постављен је висок критеријум степена третмана употребљених вода уз опцију достизања „нула“ употребљених вода.	Еколошки / (квалитативна оцена)

К5: Захтев за кадром и сложеност управљања система	Пожељно је да одабрани модел буде што лакши и једноставнији за рад и одржавање, те да га крајњи корисник може сервисирати без ангажовања специјалних предузећа.	Социјални / (квалитативна оцена)
К6: Прихватљивост решења од стране крајњих корисника	Крајњем кориснику су предочене све могућности са својим предностима и манама, као и могућност реализације иновативне методе – третман употребљених вода фиторемедијацијом.	Социјални / (квалитативна оцена)

Табела 5.2: Рангирање опција са приказом табеле тока

Опција	***T+***	***T-***	***T***	***Ранг***
Опција 1 - SBR	*0.37*	*0.17*	*0.19*	***2***
Опција 2 - MBR	*0.30*	*0.43*	*-0.13*	***4***
Опција 3 - MBBR	*0.17*	*0.45*	*-0.29*	***3***
Опција 4 - фиторемедијација	*0.53*	*0.30*	*0.23*	***1***

Коришћење софтверског програма Visual PROMETHEE за анализу претходно дефинисаних критеријума омогућило је детаљну процену различитих решења за третман употребљених вода у природном резервату Засавица. На основу ових анализа, у сарадњи са управљачем комплекса, дефинисано је оптимално решење, које је испуњавало све еколошке, економске и социјалне критеријуме. Из резултата анализе, која је узела у обзир више фактора као што су природни услови, доступност земљишта, као и захтеви за "нула" отпадним водама, изашла су два могућа решења: изградња модела третмана употребљених вода фиторемедијацијом и изградња СБР уређаја. Због доступности потребног земљишта, као и спремности управљача на примену природних и одрживих система за пречишћавање, одабрано је решење које подразумева фиторемедијацију, чиме је дефинисан систем који постиже циљ "нула" отпадних вода.

Предложеним решењем створен је биотоп који има вишеструке улоге, како са еколошког, тако и са едукативног аспекта. Прелазак воде кроз биолошке и филтрационе процесе омогућава пречишћавање отпадних вода до стандарда који се приближава нултој емисији отпадних материја у животну средину. Осим тога, овакви системи омогућавају и енергетско искоришћење процесора који обављају биолошке процесе, као и стварање образовних могућности за посетиоце, посебно младе, који у контексту мониторинга система могу активно учествовати и научити о принципима одрживог развоја и заштите животне средине.

Пројектовање система за пречишћавање отпадних вода оваквим методама подразумева изузетно сложен мултидисциплинарни приступ. Ово укључује сарадњу инжењера, биолога, хемичара, аналитичара животне средине и других стручњака како би се осигурало правилно функционисање система. С обзиром на зависност од више фактора који утичу на функционисање система, као што су квалитет отпадне воде, климатски услови и карактеристике биљака, детаљно су анализирани и разматрани сви параметри који ће осигурати ефикасност система.

Кроз пројектну документацију, која је обухватила све аспекте који утичу на избор оптималног решења, спроведене су следеће анализе:

- Квалитет отпадне воде, који укључује концентрације органских материја и присуство опасних супстанци у отпадним водама,
- Степен захтеваног третмана отпадне воде, који подразумева класификацију воде у различите категорије на основу њеног квалитета и потребан степен пречишћавања,
- Климатски услови, који су битни за процену ефикасности процеса евапотранспирације, јер овај процес има значајну улогу у уклањању воде из система,
- Карактеристике изабраних биљних врста које се користе у фиторемедијацији, јер оне морају бити отпорне на различите агресивне материје које се могу наћи у отпадним водама,
- Расположива површина која одређује капацитет система и одговарајући број лагуна потребних за ефикасан рад целокупног система.

Као резултат ових анализа, спроведена је хидролошка анализа која је омогућила израду хидрауличког прорачуна и дефинисање потребне површине за изградњу лагуна, тако да након завршеног процеса третмана нема отпадних вода, већ се кроз евапотранспирацију уклања сва вода. Евапотранспирација као природни процес подразумева истовремено испаравање воде у атмосферу и њено губљење путем животних процеса биљака, што омогућава "нулу" отпадних вода.

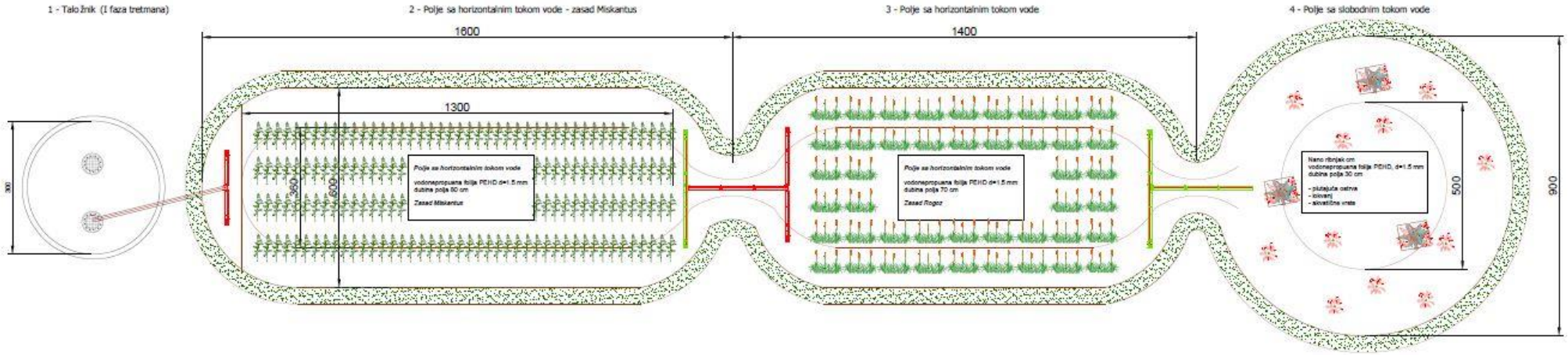
Пројектовано решење садржи четири кључна елемента:

1. **Таложник** као први елемент који служи за издвајање уља, масти и честица из сирових отпадних вода.
2. **Прва лагуна** са хоризонталним током воде и засадом *Мискантуса*, која се користи за прелиминарни третман воде.
3. **Друга лагуна** са хоризонталним током воде и засадом *Рогоза*, која врши додатно пречишћавање и појачава ефекат евапотранспирације.
4. **Трећа лагуна** са слободним током воде, која служи као резервни простор у периоду кишних дана и као индикационо поље, тако да вода не излије на околни терен. Ова лагуна има и естетску улогу, као место где се могу поставити касете са оријенталним цветницама и акватичним животињама.

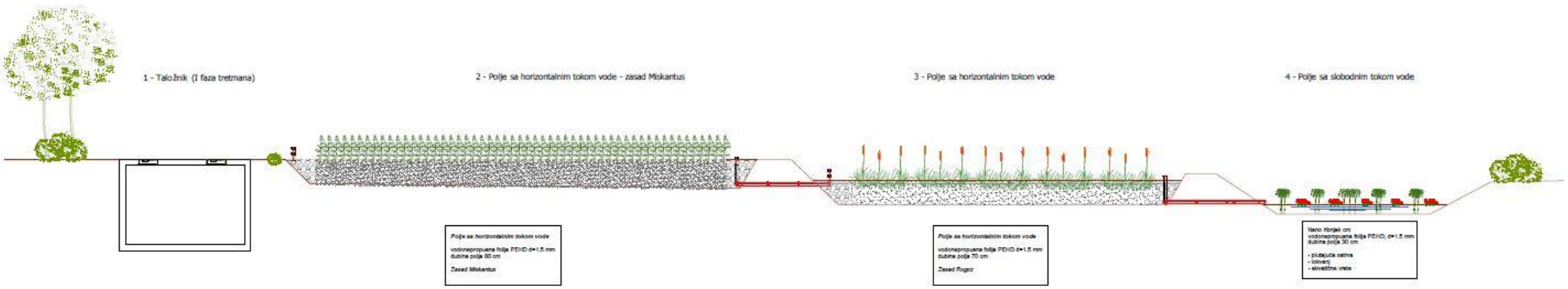
Прва фаза третмана, која се одвија у таложнику, има задатак да издвоји веће честице и масти из употребљених отпадних вода. У другом кораку, после задржавања воде у периоду од 3-4 дана, вода се одводи до прве лагуне, где се одвија бистрење уз помоћ биљака као што је *Мискантус.* Након тога, вода се прелива у другу лагуну у којој се кроз процес евапотранспирације постиже циљ "нула" отпадних вода.

Трећа лагуна је пројектована као резервни простор, али и као индикацијско поље које уједно има и естетски ефекат. Сви ови елементи интегришу природне процесе и еколошке принципе који осигуравају високу ефикасност и одрживост система пречишћавања отпадних вода у природном резервату Засавица.

Слика 5.3: Положај изграђеног постројења за третман употребљених вода



Слика 5.4 : Шема пројектованог и изведеног система пречишћавања отпадних вода у специјалном резертвату природе Засавиа



Слика 5.5: Подужни пресек система пречишћавања отпадних вода у специјалном резертвату природе Засавиа

5.4 Мониторинг и управљање системом

Поред анализе и дефинисања критеријума за одабир система за пречишћавање отпадних вода, у циљу обезбеђивања одрживости и дугорочне функционалности система, од круцијалне важности је дефинисање ефективног мониторинга и управљања системом. Ово подразумева стално праћење система, које обухвата све фазе, од пројектовања и изградње, преко пуштања у рад, па до редовне контроле и одржавања током периода експлотације. Управљање и мониторинг система морају бити интегрисани у целокупни процес одржавања система, како би се обезбедила висока ефикасност пречишћавања отпадних вода, као и усклађеност са еколошким и здравственим стандардима.

Током периода пројектовања система, потребно је спровести неколико кључних активности, како би се осигурала исправност и одрживост предложеног решења. Један од најзначајнијих фактора је хидрологија, која представља основни параметар при пројектовању и конструисању система. Хидролошки фактори повезују све функције система и представљају један од најчешћих узрока неадекватног функционисања система. Стога, пажљиво проучавање хидролошких карактеристика подручја на којем се система гради, као и стално праћење ових фактора током периода експлотације, представља основ за оптимално функционисање система.

У току изградње система, потребно је спровести неке специфичне активности које гарантују исправност конструкције и функционалност система. На пример, након полагања разводних цевовода, али пре него што се они затрпају (насипавањем испуне), потребно је извршити пробу с пуштањем чисте воде кроз разводну мрежу. Ова проба служи за проверу да ли је расподела дотока једнака по читавој дужини разводног цевовода. Уколико се уоче било какве неправилности, потребно је применити одговарајућа техничка решења и исправити их пре затрпавања.

Један од кључних захтева за изградњу система је постизање водонепропусности, што је од пресудне важности како би се спречило било какво контаминирање подземних вода или земљишта. За остварење овог захтева, неопходно је користити водонепропусне материјале, као што су геомембране, којима се облаже површина лагуна. Приликом избора ових материјала, мора се обратити пажња на њихову отпорност на агресивно деловање отпадних вода, као и на факторе као што су смрзавање, УВ зрачење, оштећења од филтерске испуне и могућа продирања корења вегетације.

При избору вегетације за систем, препорука је да се користе аутохтоне биљне врсте које су прилагођене локалним климатским и еколошким условима. Ове биљне врсте обезбеђују лакши пријем и развој у лагунама, чиме се доприноси успостављању стабилне биолошке равнотеже, што је кључно за дугорочну ефикасност система.

Захтеви за одржавање ових система су минимални, али редовно и пажљиво одржавање је неопходно за очување ефикасности и спречавање непожељних

последица. Сама изградња система не значи и трајно постизање захтеване ефикасности. Потребно је одређено време за успостављање биолошке равнотеже између биљних и животињских заједница које чине екосистем унутар система. Једина гаранција за очување ове равнотеже и постизање високог степена уклањања отпадних материја јесте редовно управљање и одржавање, које укључује спречавање ситуација као што су зачепљење дистрибуцијских и дренажних цеви, зачепљење филтерске испуне лагуна, плављење површине лагуна, ширење неугодних мириса, неконтролисан раст вегетације, као и интензиван развој нежељених инсеката и других штетних организама[113].

За потребе редовног одржавања система, довољан је рад једног радника ниже стручне спреме, који ће провести неколико радних сати недељно. У табели 5.3 дате су препоруке активности и њихово временско спровођење за постројења до 500 ЕС, према препорукама Ван Деуна, које служе као водич за оптимално управљање и одржавање ових система.

Редовно одржавање и праћење су од кључног значаја за осигурање дугорочне функционалности и ефикасности система, као и за усклађеност са еколошким и здравственим стандардима.

Табела 5.3: Учесталост и време спровођења појединих активности одржавања система за капацитет до 500 ЕС[114]

Активност	***Учесталост***	***Трајање***	***Укупно (сати/годишње)***
Генерална контрола рада система: предтретман, евентуална машинска опрема, лагуне, околни терен	1 недељно	30 минута	26
Кошење зелених површина око система, као и кошење насипа и бочних страна	6 пута годишње	4 сата	24
Контрола уливних и изливних објекта и њихово чишћење	2 пута годишње	2 сата	4
Кошење вегетације у лагунама	1 годишње	24 сата	24
Чишћење и пражњење исталожених материја у таложнику	*	8 сати	-

[113] *Tchobanoglous, G., et al., Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. McGraw-Hill, 2003.*
[114] *Van Deun, J., et al., Maintenance and Management of Wastewater Treatment Plants, 2010.*

Активности редовног одржавања система за пречишћавање отпадних вода обухватају низ мера које су од кључне важности за очување дугорочне ефикасности и функционалности целокупног система. Ове активности укључују, али нису ограничене на:

1. Редовну контролу нивоа отпадне воде у таложнику: Ова контрола је неопходна како би се осигурало да ниво воде у таложнику не пређе предвиђене границе, што би могло довести до превелике акумулације отпадних материја и нарушавања процеса третмана.
2. Спровођење пражњења исталоженог муља и пливујућих материја: Овај процес укључује уклањање акумулираних честица и муља који су се нагомилали на дну таложника, као и изолацију пливујућих материја. Учесталост пражњења зависи од више фактора, као што су капацитет таложника, физичко-хемијске особине сирове отпадне воде, као и ефикасност претходних фаза третмана. Досадашња искуства показују да је учесталост ових интервенција, у просеку, једном годишње до једном у две године, али ово може варирати у зависности од специфичних услова на терену.
3. Редовну контролу нивоа воде у лагунама: Ниво воде у лагунама треба редовно пратити како би се избегло прекомерно преливање или сувоћа, што би могло довести до прекида процеса фиторемедијације и нарушавања еколошке равнотеже.
4. Редован преглед уливних и изливних објеката (дистрибуцијских и дренажних система): Ови објекти морају бити под редовним надзором како би се обезбедило да не дође до зачепљења или оштећења који би могли ометати нормалан ток отпадне воде кроз систем. Чишћење ових објеката је неопходно за одржавање њихове функционалности.
5. Контролу стања и стабилности лагуна, укључујући насип око лагуна: Насипи који окружују лагуне морају бити континуирано пратени како би се спречила ерозија или продор непожељних материја у систем. Ово је посебно важно у случају поплава или других природних догађаја који могу угрозити структуру лагуна.
6. Праћење раста и стања вегетације у лагунама: Вегетација има важну улогу у процесу фиторемедијације, те је важно пратити њен раст и здравље. Кошење вегетације је редовно потребно како би се обезбедила оптимална циркулација воде и спречило прекомерно густања која могу блокирати ток воде. Такође, мора се пратити појава нежељених биљних популација, попут корова, и благовремено их уклонити како би се одржала функционалност система.
7. Праћење ефикасности рада процесора: Да би се осигурала ефикасност читавог система, потребно је повремено узорковати пречишћену отпадну воду и анализирати резултате. Ово ће омогућити да се уоче евентуалне неправилности у процесу пречишћавања и благовремено предузму мере за њихово отклањање.

8. Контрола општег стања целог система: У оквиру редовног одржавања, важно је спровести свеобухватну контролу целокупног система, укључујући провере опреме и инфраструктуре. При овим активностима, важно је водити детаљан дневник активности и опажања који укључује опис активности, датум и време извршења, разлог предузимања активности (да ли је у питању редовно одржавање или хитна интервенција), као и било какве додатне информације као што су временски услови или друга запажања која могу утицати на рад система.

Редовно и стручно одржавање система омогућава не само да се постигне дугорочна ефикасност, већ и да се спрече потенцијални проблеми који могу довести до смањења капацитета система или негативних последица по животну средину.

Поглабље 6: ЗАКЉУЧАК

До пре неколико деценија, проблем са водним ресурсима, као и са енергентима није био изражен, те је опште мишљење било да их има у изобиљу. Највећи потрошач слатке воде је пољопривреда са око 69%[115]. Са израженом урбанизацијом, у 21. веку, потребе за водом и храном, као и енергентима су све веће. Негативан антропогени фактор доводи до додатног деградирања животне средине, те и део доступних водне ресурса чини неприхватљивим за употребу. Како је количина водних ресурса ограничена, све је већи акценат на заштити водних ресурса, те стим у вези и на пречишћавање свих употребљених вода.

Према последњем попису становништва из 2022. године, око 25% људи у Србији живи у руралним, односно сеоским срединама, док преосталих 75% живи у градовима. Приближно један четвртина становништва Србије смештена у селима и мањим местима, где је приступ напредним системима за пречишћавање отпадних вода ограничен. Највећи део овог становништва је углавном препуштен самосталном решавању овог питања, што додатно повећава ризик од загађења водних ресурса. У складу са тим, US Environmental Protection Agency (EPA) препознаје децентрализоване системе као одрживо решење за пречишћавање отпадних вода у руралним подручјима, јер ови системи могу ефикасно решити изазове у вези са квалитетом водних ресурса и јавним здрављем у тим заједницама.

Како је количина доступних водних ресурса ограничена, акценат на глобалном нивоу све више прелази на њихову заштиту и на развој технологија које омогућавају пречишћавање отпадних вода. Проблеми са управљањем отпадним водама у руралним подручјима додатно подстичу потребу за иновацијама у области третмана отпадних вода. У том контексту, концепт оптимизације система третмана отпадних вода представља динамичан процес који подразумева активно учешће свих заинтересованих страна и баланс економских, еколошких и социјалних фактора.

Да би се постигао ефективан и одржив модел третмана отпадних вода у руралним насељима Србије, спроведена је детаљна анализа релевантних критеријума кроз примену више-критеријума методе одлучивања (MCA - Multi-Criteria Analysis). Ова методологија представља научни допринос у процесу оптимизације, омогућавајући не само анализу финансијских фактора, већ и других кључних нефинансијских аспеката који су од пресудне важности за одрживост читавог система. У ту сврху, поред финансијских аспеката, пажња се посвећује факторима као што су еколошка одрживост, енергетска ефикасност, утицај на локалну заједницу и здравље становништва.

[115] Singh, A. A review of wastewater irrigation: Environmental implications. Resour. Conserv. Recycl. 2021, 168, 105454.

Један од важних аспеката овог процеса је тежња ка минимизацији утрошка енергије, како би се избегао додатни притисак на природне ресурсе. Поред тога, важно је развијати решења која не производе отпад, већ кроз своје процесе стварају нове вредне ресурсе. С тим у вези, посебно је разматрана примена природних система за пречишћавање отпадних вода, као што је фиторемедијација, која представља један од најефикаснијих и најодрживијих начина третмана отпадних вода. Применом природних биљних система у процесима пречишћавања, не само да се минимизују трошкови и енергетски захтеви, већ се истовремено постиже и значајно побољшање квалитета водних ресурса, чиме се доприноси еколошкој одрживости региона.

Употреба природних биљних система на бази фиторемедијације се показала као обећавајући метод, јер омогућава уклањање токсичних материја и контаминасаних честица из отпадних вода, истовремено користећи биљке за унутрашње пречишћавање. Овај природни процес није само еколошки прихватљив, већ омогућава и веће укључивање локалних заједница у процес пречишћавања, чиме се повећава свест о значају заштите водних ресурса и здравља животне средине.

Након спроведених истраживања у оквиру овог рада, у наставку се дају закључци у вези почетно наведених хипотеза.

Хипотеза Х1: Здравље човека, као и квалитет вода су у директној вези са неконтролисаним и небезбедним третманом отпадних вода.

У првом теоријском делу рада, анализиран је утицај непречишћавања отпадних вода на квалитет водних ресурса, као и на здравље становништва. Резултати анализе недвосмислено указују на директну везу између лошег третмана отпадних вода и значајних негативних последица по здравље људи, као и на екосистем у целини. У овом контексту, истакнута је апсолутна потреба за изградњом и унапређењем система за пречишћавање отпадних вода који би обезбедио дугорочну одрживост и сигурност водних ресурса.

Користећи доступне податке о стању у граду Краљеву, анализа је показала да су највећи проблеми у области прикупљања и третмана отпадних вода резултат недовољне изграђености канализационог система, као и недостатка адекватних постројења за третман отпадних вода. Овај недостатак инфраструктуре праћен је и ниским нивоом еколошке свести доналаца одлука на локалном нивоу, што додатно компликује решавање овог значајног проблема.

Током истраживања препознати су бројни ризици који могу утицати на успостављање одрживог децентрализованог система третмана отпадних вода, а који су у великој мери повезани са недостатком свести, знања и ресурса. На основу идентификованих проблема, можемо издвојити следеће кључне факторе:

- Недостатак свести и знања о последицама непречишћавања отпадних вода на животну средину и здравље људи: Овај недостатак свести доводи до недовољне

подршке јавности и одлучивачима, чиме се успорава процес доношења мера које су од суштинског значаја за заштиту здравља и водних ресурса.

- Недостатак кадровских капацитета: У многим случајевима, локалне власти и институције су ограничене у погледу стручних ресурса, што отежава ефикасно управљање и имплементацију решења за третман отпадних вода.
- Недостатак финансијских средстава: Недовољна финансиска средства за изградњу и одржавање инфраструктуре за пречишћавање отпадних вода често представљају кључну баријеру за реализацију потребних пројеката.
- Недостатак законодавних оквира за примену иновативних решења: Иако постоје законски оквири који регулишу ову област, они се не примењују у довољној мери, углавном због недостатка политичке воље, као и због проблема са финансирањем.
- Недостатак планске и пројектне документације: Многе локалне самоуправе немају развијене и одрживе планове за развој инфраструктуре за третман отпадних вода, што значајно успорава имплементацију потребних мера.
- Недостатак воље за решавање овог проблема код људи који се налазе на одлучујућим функцијама: Неопходно је да носиоци политичких и управљачких функција буду више посвећени решавању ових проблема и примени ефикасних решења на локалном нивоу.

Сумирано, резултати овог истраживања указују на потребу за комплексним приступом који ће обухватити све аспекте одрживог третмана отпадних вода, од подизања свести и стручних капацитета, преко финансијске подршке, до развоја иновација и ефективног законодавства. Спровођење адекватних мера у овој области имаће дугорочне позитивне ефекте како на квалитет водних ресурса, тако и на здравље становништва.

У другом теоријском делу рада детаљно је приказан и анализиран спектар доступних технологија које се примењују у децентрализованим системима за пречишћавање отпадних вода. Конвенционалне технологије, као што су пречишћавање применом активног муља, мембрански процеси и друге сличне методе, током дугогодишње употребе доказале су своју ефикасност у процесу пречишћавања отпадних вода. Међутим, поред својих значајних предности, ове технологије показују и одређене недостатке, који се пре свега односе на високе енергетске захтеве, значајну потребу за стручним одржавањем, као и високе трошкове изградње и одржавања система. Ови фактори постављају питање одрживости примене таквих система у руралним срединама земаља у развоју, где су ресурси ограничени, а потребе за одржавањем и управљањем инфраструктуром често изазовне. У контексту ових изазова, важно је размотрити алтернативне технологије које могу бити погодније за овакве услове.

Као алтернатива, анализирана је примена природних биљних система - фиторемедијација за пречишћавање отпадних вода. Ови системи не захтевају велика финансијска улагања за изградњу и одржавање, што их чини атрактивним решењем,

посебно за регије са ограниченим ресурсима. Природни биљни системи карактеришу се ниским енергетским захтевима, што их чини еколошки одрживим и економски исплативим, те могу значајно допринети смањењу оптерећења на енергетске ресурсе. Такође, због своје једноставне конструкције и функционалности, они не захтевају високо квалификовану радну снагу за њихово редовно одржавање, што је додатна предност у срединама где стручни кадрови могу бити ограничени.

Изградња и имплементација природних биљних система не само да имају еколошке и економске предности, већ и естетски уклапају у околни амбијент, те доприносе стварању својеврсног биотопа који може бити користан за локалну флору и фауну. Ово их чини не само функционалним решењима за пречишћавање отпадних вода, већ и доприноси побољшању квалитета животне средине и изгледа локалних заједница.

У сарадњи са представницима Факултета за примењену екологију „Футура“, спроведена је студијска посета биолошком постројењу за третман отпадних вода у Кирнбергу, Аустрија. Током ове посете, директно су сагледане све предности и мане постојећег система који је у функцији, као и изазови са којима се ова врста система суочава у пракси. У изградњи и даљем праћењу рада и одржавања система, укључена је целокупна локална заједница, што је кључни аспект успешне примене децентрализованих решења. Учешће заједнице у процесу не само да повећава успешност имплементације, већ и осигурава да решења буду прилагођена специфичним потребама локалног становништва.

Кључ за успешну децентрализацију система третмана отпадних вода лежи у ширењу свести о предностима адекватног третмана отпадних вода, као и у припреми локалних заједница да буду спремне да примене иновативна решења. За то је неопходно активирати све чланове заједнице и укључити их у процес одлучивања, јер је њихово активно учешће у овим механизмима од одличне важности за дугорочну одрживост система.

Хипотеза Х2: Заинтересоване стране су спремне да примене иновативна решења у третману отпадних вода као и да узму учешћа у механизму доношења одлука. У оквиру трећег дела овог рада, анализирана је анкета која је обухватила 204 испитаника из 64 месне заједнице града Краљева. Спроведена анкета имала је за циљ да истражи ставове и ставове локалног становништва према примени иновативних решења за пречишћавање отпадних вода, као и њихову спремност за учешће у процесу доношења одлука који се односе на развој и имплементацију таквих система.

Генерални закључак који произлази из спроведене анкете јесте да су испитаници свесни значаја адекватног пречишћавања отпадних вода и последица које неадекватно управљање отпадним водама може имати по животну средину и здравље становништва. Међутим, с друге стране, резултати анкете указују на недостатак информација о доступним иновативним технологијама за третман отпадних вода. Испитаници су изразили велику заинтересованост за проширење својих знања о овим

технологијама, што указује на могућност за унапређење свести и образовања у овом важном сектору.

Иако су испитаници показали висок степен свести о значају пречишћавања отпадних вода, многи су признали да су им недостајала конкретна знања о иновацијама и новим технологијама које би могле побољшати ефикасност овог процеса. Упркос томе, њихова велика заинтересованост за додатно усавршавање у овом домену указује на потенцијал за ширење информација и укључивање локалног становништва у примену иновативних решења.

Детаљна анализа резултата анкете представљена је у поглављу 4.1, где су обрађени различити аспекти ставова испитаника, као и фактори који могу утицати на њихову спремност да се активно укључе у процес одлучивања у вези са увођењем нових технологија за третман отпадних вода. Тиме се добија дубљи увид у потребе, изазове и потенцијале за унапређење јавне свести и укључивања грађана у одлучивачке процесе који се тичу животне средине и одрживог управљања водним ресурсима.

Хипотеза Х3: Природни биљни системи – фитореидајциона постројења за пречишћавање отпадних вода прихватљив су и економски оправдан начин третмана отпадних вода у мањим насељима, јер немају велике утрошке енергије и користе процесе који се и иначе догађају у природи, чиме подржавају одрживи развиој. Еколошки су прихватљиви јер биљке пречишћавају отпадне воде и уклапају природно окружење и често постају станишта животињама. У четвртом поглављу овог рада, након теоријског прегледа и примене вишекритеријумске методе одлучивања, конкретно методе корисности примењене кроз технику PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*), извршена је детаљна анализа доступних технологија за пречишћавање отпадних вода. Анализа је реализована на основу претходно дефинисаних критеријума, уз активну укљученост заинтересованих страна и доносиоца одлука. Примена софтверског програма Visual PROMETHEE значајно је олакшала процес анализе, омогућавајући детаљно сагледавање значаја и утицаја сваког критеријума на избор оптималног решења. Овај приступ је пружио основу за квалитативну и квантитативну процену свих могућих решења, чиме се повећала прецизност у доношењу одлука.

У овом раду, акценат није био стављен на достизање апсолутне максималне ефикасности у пречишћавању, већ на испуњавање законски прописаних максимално дозвољених вредности за квалитет воде, уз захтев да системи за пречишћавање отпадних вода не захтевају велика финансијска средства за одржавање и да не захтевају високообразовану радну снагу за потребе одржавања рада истих. Према резултатима анализе критеријума, најоптималније решење за децентрализоване системе пречишћавања отпадних вода било је фиторемедијација, затим SBR (*Sequencing Batch Reactor*), па MBR (*Membrane Bioreactor*), док је као најнеповољније решење идентификован MBBR (*Moving Bed Biofilm Reactor*). Међутим, наглашено је да

је за сваки појединачни случај неопходно детаљно разматрати све релевантне критеријуме, а не само оне који су анализирани у овом раду. Такође, треба имати у виду да избор технологије не зависи само од техничких и еколошких карактеристика система, већ и од специфичних потреба и могућности локалних заједница, што подразумева активно учешће доносиоца одлука и крајњих корисника.

Процена економских, еколошких и социјалних критеријума показала је да је посебну пажњу потребно посветити економском аспекту, јер економски фактори имају највећи утицај на ефикасно и одрживо управљање системима за пречишћавање отпадних вода. Иако су економски фактори веома важни, потребно је нагласити да одлуке које се доносе не би требало да се фокусирају искључиво на финансијске аспекте, већ и на остале критеријуме који могу значајно утицати на оптимизацију модела. На пример, еколошки и социјални фактори, као што су утицај на животну средину и укључивање локалне заједнице, такође играју кључну улогу у дугорочној одрживости система.

Иако се методе вишекритеријумског одлучивања, као што је PROMETHEE, широко користе у различитим областима, резултати истраживања показују да је потребан даљи рад на јачању капацитета доносиоца одлука за преузимање одговорности у решавању проблема пречишћавања отпадних вода. Применом ових метода у процесу одлучивања може се значајно побољшати квалитет доношења одлука, али такође је неопходно наставити са радом на образовању и оснаживању доносиоца одлука како би се осигурао успешан и одржив процес примене иновативних решења у третману отпадних вода.

ПРИЛОГ 7:

7.1 Законска регулатива у области третмнаа оптаних вода у ЕУ и у Републици Србији

Директиве Европске уније из области заштите вода су:

- Оквирна директива о водама 2000/60/ЕС
- Директива 91/271/ЕЕС о пречишћавању комуналних отпадних вода и њена допуна Директива 98/15/ЕС
- Директива 91/676/ЕЕС о заштити вода од загађивања узрокованог нитратима из пољопривредних извора
- Директива 86/278/ЕЕС о заштити животне средине, а посебно земљишта при коришћењу канализационог муља у пољопривреди
- Директива 76/464/ЕЕС о граничним вредностима за испуштање опасних супстанци у воде
- Директива 80/68/ЕЕС о заштити подземних вода од загађивања
- Директива 96/61/ЕЕС о интегралном спречавању и контроли загађивања

Када говоримо о нашој земљи, у Републици Србији, постоји низ законских аката који су последњих година усаглашени са европским. Правни оквир у Републици Србији, који се односи на регулативу у области третмана отпадних вода су:

- Закон о водама ("Сл. гласник РС", бр. 30/2010, 93/2012, 101/2016, 95/2018 и 95/2018 - др. закон)
- Закон о комуналним делатностима ("Сл. гласник РС", бр. 88/201, 104/2016 и 95/2018)
- Уредба о граничним вредностима загађујућих материја у воде и роковима за њихово достизање („Сл. Гласник РС“, бр. 67/2011 и 48/2012)

Табела 7.1: Извод битних елеманата из Закона о водама[116]

Чланом 3. тачка 34 дефинисан је појам **„Јавне канализације“**	„јавна канализација јесте скуп техничко-санитарних објеката и мера, којима се обезбеђује непрекидно и систематско сакупљање, одвођење, пречишћавање и испуштање отпадних и атмосферских вода насеља и привреде у одговарајуће пријемнике-реципијенте“
Чланом 3. тачка 41а)дефинисан је појам **„Муљ“**	„муљ јесу обрађени или необрађени остаци који настају у процесу пречишћавања комуналних отпадних вода“
Чланом 3. тачка 52 дефинисан је појам **„Реципијент“**	„реципијентом (пријемником) се сматрају природни и вештачки водотоци, језера, акумулације и земљиште, у које се испуштају

[116] *Закон о водама ("Сл. гласник РС", бр. 30/2010, 93/2012, 101/2016, 95/2018 и 95/2018 - др. закон)*

	отпадне и атмосферске воде и воде из каналске мреже за одводњавање“
Чланом 3. тачка 61 дефинисан је појам **„Циљеви животне средине“**	„циљеви животне средине обухватају спречавање погоршања, заштиту и унапређивање свих водних тела површинских вода и заштиту, унапређење и обнављање свих тела поџемних вода, а ради остваривања доброг статуса површинских и поџемних вода и заштићених области“
Чланом 3. тачка 62 дефинисан је појам **„1 ЕС“**	„1 ЕС (један еквивалентни становник) је органско биоразградиво оптерећење које има петодневну биохемијску потрошњу кисеоника од 60 г кисеоника на дан“
Чланом 19. дефинисани су водни објекти за сакупљање и пречишћавање отпадних вода	„Водни објекти за сакупљање, одвођење и пречишћавање отпадних вода и заштиту вода су: главни колектори, постројења за пречишћавање отпадних вода, постројења за прераду отпадних муљева, постројења за прераду процедних вода санитарних депонија чврстог отпада, испусти из постројења у пријемник (реципијент) и други припадајући уређаји, као и бране са акумулацијама за побољшање квалитета вода“
Чланом 25. тачка 6, дефинисан је принцип загаживач плаћа	„начелу "загађивач плаћа" - свако ко својим активностима проузрокује загађење воде дужан је да сноси трошкове мера за отклањање загађења“
Чланом 93. дефинисан, одређују се физичко-хемијски параметри и граничне вредности емисије загађујућих материја, као и начини и услови испуштања загађујућих материја и примене граничних вредности емисије	„1) технолошке отпадне воде пре њиховог испуштања у јавну канализацију; 2) технолошке и друге отпадне воде које се непосредно испуштају у реципијент; 3) воде које се после пречишћавања испуштају из система јавне канализације у реципијент; 4) отпадне воде које се испуштају у реципијент из септичке и сабирне јаме“
Чланом 97. дефинисане су забране реади очувања квалитета воде	„Ради заштите квалитета вода, забрањено је: 1) уношење у површинске воде отпадних вода које садрже хазардне и загађујуће супстанце изнад прописаних граничних вредности емисије које могу довести до погоршања тренутног стања; 1а) уношење свих хазардних супстанци у поџемне воде; 1б) уношење осталих загађујућих супстанци у поџемне воде у мери у којој узрокују погоршање или значајне и сталне узлазне трендове концентрација загађујућих супстанци у поџемним водама; 2) испуштање отпадне воде у стајаће воде, ако је та вода у контакту са поџемном водом, која може

	проузроковати угрожавање доброг еколошког или хемијског статуса стајаће воде; 3) испуштање са пловних објеката или са обале загађујућих супстанци које директно или индиректно доспевају у воде, а потичу од било ког уређаја са брода или уређаја за пребацивање на брод или са брода; 4) испуштање прекомерно термички загађене воде; 4а) одлагање у воде муља, обрађеног или необрађеног, из постројења за пречишћавање комуналних отпадних вода; 5) коришћење ђубрива или средстава за заштиту биља у обалном појасу до 5 м; 6) испуштање у јавну канализацију отпадних вода које садрже хазардне супстанце: - изнад прописаних вредности, - које могу штетно деловати на могућност пречишћавања вода из канализације, - које могу оштетити канализациони систем и постројење за пречишћавање вода, - које могу негативно утицати на здравље лица која одржавају канализациони систем; 7) коришћење напуштених бунара као септичких јама; 8) остављање у кориту за велику воду природних и вештачких водотока и језера, као и на другом земљишту, материјала који могу загадити воде; 9) прање возила, машина, опреме и уређаја у површинским водама и на водном земљишту.“
Чланом 98. дефинисна је обавеза пречишћавања отпадних вода	„Правно лице, предузетник, односно физичко лице које испушта или одлаже материје које могу загадити воду, осим физичког лица које користи воду за пиће, сопствене и санитарне потребе, дужно је да те материје, пре испуштања у систем јавне канализације или реципијент, делимично или потпуно одстрани као и да пречисти отпадне воде, у складу са овим законом и посебним законима који уређују област заштите животне средине, односно прописа донетих на основу тих закона. Пречишћавање отпадних вода из става 1. овог члана врши се до нивоа који одговара граничним вредностима емисије или до нивоа којим се не нарушавају стандарди квалитета животне средине реципијента, у складу са прописима којима се уређују граничне вредности загађујућих материја у површинским и поцемним водама, граничне вредности приоритетних, хазардних и других загађујућих супстанци и прописом којим се уређују

	граничне вредности емисије загађујућих материја у воде, узимајући строжији критеријум од ова два. Изузетно, строжије услове испуштања отпадних вода, односно строжије вредности од прописаних граничних вредности емисије из става 2. овог члана утврђују се водном и/или интегрисаном дозволом у складу са прописом из става 2. овог члана а на основу стандарда квалитета животне средине и граничних вредности из члана 93а овог закона и закона којим се уређује интегрисано спречавање и контрола загађивања животне средине. Ради обезбеђивања пречишћавања отпадних вода, лице из става 1. овог члана које испушта отпадну воду у реципијент или јавну канализацију дужно је да обезбеди средства и утврди рокове за изградњу и погон уређаја, односно постројења за пречишћавање отпадних вода у складу са акционим планом за достизање граничних вредности емисије загађујућих материја у воде, планом заштите вода од загађивања и планом управљања водама. Акт о испуштању отпадних вода у јавну канализацију доноси надлежни орган јединице локалне самоуправе. Муљ који је настао у процесу пречишћавања комуналних отпадних вода обрађује се, користи или одлаже на начин којим се не угрожава животна средина и здравље људи, у складу са овим законом, прописом којим се уређују граничне вредности емисије загађујућих материја у воде и посебним законима којима се уређује пољопривредно земљиште и управљање отпадом.“
Чланом 99. дефинисана је обавеза мерења количине и испитивања квалитетаотпадних вода	„Правно лице, предузетник, односно физичко лице из члана 98. овог закона, дужно је да постави уређаје за мерење и континуирано мери количине отпадних вода, да испитује параметре квалитета отпадних вода и њихов утицај на реципијент, да извештаје о извршеним мерењима чува најмање пет година и да исте доставља јавном водопривредном предузећу, министарству надлежном за послове заштите животне средине и Агенцији за животну средину једном годишње.“

Табела 7.2: Извод битних елеманата из Закона о комуналним делатностима[117]

Чланом 2. став 1 и тачком 2 дефинисан је појам **„Комуналне делатности“**	„Комуналне делатности у смислу овог закона су делатности пружања комуналних услуга од значаја за остварење животних потреба физичких и правних лица код којих је јединица локалне самоуправе дужна да створи услове за обезбеђење одговарајућег квалитета, обима, доступности и континуитета, као и наџор над њиховим вршењем. 2) пречишћавање и одвођење атмосферских и отпадних вода“
Чланом 3. тачком 2 дефинисан је појам **„Пречишћавање и одвожење атмосферских и отпадних вода“**	„2) пречишћавање и одвођење атмосферских и отпадних вода је сакупљање, одвођење, пречишћавање и испуштање отпадних, атмосферских и површинских вода са површина јавне намене, односно од прикључка корисника на уличну канализациону мрежу, третман отпадних вода у постројењу за пречишћавање, црпљење, одвоз и третирање фекалија из септичких јама“
Чланом 4. дефинисана је надлежност локалне самоуправе над уређењем комуналних делатности	„Јединица локалне самоуправе, у складу са овим законом, обезбеђује организационе, материјалне и друге услове за изградњу, одржавање и функционисање комуналних објеката и за техничко и технолошко јединство система и уређује и обезбеђује обављање комуналних делатности и њихов развој. Комуналним објектима, у смислу става 1. овог члана, сматрају се грађевински објекти са уређајима, инсталацијама и опремом, сама постројења, уређаји и инсталације и други објекти који служе за пружање комуналних услуга корисницима, као и уређено грађевинско земљиште и добра у општој употреби која се користе за обављање комуналне делатности. Јединица локалне самоуправе уређује у складу са законом услове обављања комуналних делатности, права и обавезе корисника комуналних услуга, обим и квалитет комуналних услуга и начин вршења наџора над обављањем комуналних делатности обезбеђујући нарочито: 1) одговарајући обухват, обим и квалитет комуналних услуга, који подразумева нарочито: здравствену и хигијенску исправност према прописаним стандардима и нормативима, тачност у

[117]*Закон о комуналним делатностима "Сл. гласник РС", бр. 88/201, 104/2016 и 95/2018*

	погледу рокова испоруке, сигурност и заштиту корисника у добијању услуга, поузданост, приступачност и трајност у пружању услуга; 2) развој и унапређивање квалитета и асортимана комуналних услуга, као и унапређивање организације рада, ефикасности и других услова пружања услуга; 3) сагласност са начелима одрживог развоја, која су дефинисана посебним законом који уређује одређену комуналну делатност; 4) ефикасно коришћење ресурса и смањење трошкова обављања комуналних делатности успостављањем сарадње две или више јединица локалне самоуправе и другим активностима када за то постоји могућност; 5) конкуренцију у обављању делатности. Ради коришћења, чувања и одржавања средстава за обављање комуналних делатности, одржавања чистоће и заштите животне средине, опште уређености насеља, спољног изгледа објекта и уређености површина, јединица локалне самоуправе може да пропише опште услове одржавања комуналног реда и мере за њихово спровођење.“

7.2: Анкета „Значај и доступне технологије прикупљања и третмана употребљених вода“

Поштовани/а,
Упитник који је пред вама је део истраживачког пројекта „Значај и доступне технологије прикупљања и третмана употребљених вода“. Упитник је анониман, а за његово попуњавање потребно је неколико минута. Надам се да ћете узети учешћа у овом истраживању, имајући у виду значај решавања проблема сакупљања и третмана употребљених вода.
Унапред се захваљујем!

1. Место становања?
1 Град
2 Приградско насеље
3 Село

2. Године старости?
1 Од 18 до 30 година
2 Од 30 до 45
3 Од 45 до 60
4 Преко 60 година

3. Образовање?
1 Завршена основна школа
2 Завршена средња школа
3 Завршена висока школа или факултет

4. Шта сматрате највећим еколошким проблемом у Вашем насељу?
(оцените од 1 до 5, од најмањег до најзначајниег еколошког проблема)

	1	2	3	4	5
Неуређен систем сакупљања и изношења комуналног отпада					
Недостатак система за сакупљање и третман употребљених вода					
Небезбедно водоснабдевање					
Загађен ваздух					

5. Место испуштања отпадних вода из Вашег домаћинства?
1 Градска канализациона мрежа
2 Локална канализациона мрежа
3 Септичка јама
4 Ништа од наведеног

6. Да ли се употребљене воде пречишћавају пре упуштања у реципјент?
1 Да
2 Не
3 Не знам

7. Да ли сматрате да испуштање непречишћених употребљених вода представља висок здравствени и еколошки ризик

1 Да
2 Не
3 Не знам

8. Да ли Вам је познато да поједине биљне врсте имају способност пречишћавања употребљених вода?

1 Да
2 Не

9. Ако је Ваш одговор на претходно питање НЕ, да ли сте заинтересовани да се више информишете?

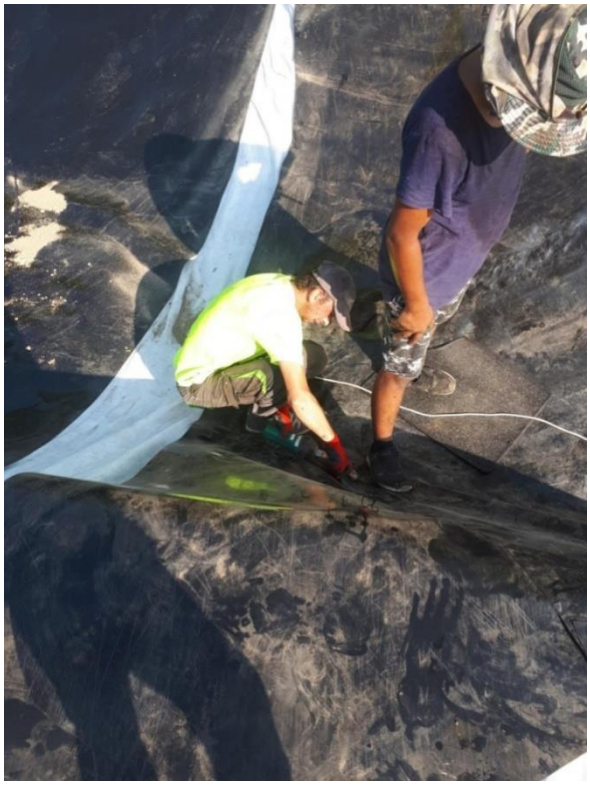
1 Да
2 Не

10. Да ли сте заинтересовани да се питање пречишћавања ваших употребљених вода реши изградњом система заснованих на употреби биљака које имају способност пречишћавања?

1 Да
2 Не

7.3: Фотодокументација

Приказ изградње постројења за пречишћавање отпадних вода у специјалном резервату природе „Засавица“



ЛИТЕРАТУРА

1. Adhikari S., Halden R.U., (2022), Opportunities and Limits of Wastewater-based Epidemiology for Tracking Global Health and Attainment of UN Sustainable Development Goals, Environment International, Volume 163, https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107217, 2022.
2. Arias A., Rama M., González-García S., Feijoo G., Moreira M.T., Environmental Analysis of Servicing Centralised and Decentralised Wastewater Treatment for Population Living in Neighbourhoods, Journal of Water Process Engineering, vol. 37, ISSN 2214-7144, 2020.
3. Ackerknecht, E. H., A Short History of Medicine. The Johns Hopkins University Press, 1982.
4. Anonym, Biologische Pflanzenkläranlage Kürnberg, "Satzung der Abwassergenosenschaft Kürnberg", Kürnberg 2007.
5. Anonym, Biologische Pflanzenkläranlage Kürnberg, „Gebührenordnung der Abwassergenosenschaft Kürnberg", Kürnberg 2007.
6. Anonym, Biologische Pflanzenkläranlage Kürnberg, „Festschrift Biokläranlage", Kürnberg 2007.
7. Anonym, Biologische Pflanzenkläranlage Kürnberg, „Kläranlage Kürnberg Systemschnitt", Kürnberg 2007.
8. Ballestero, Pérez-Gladish and Garcia-Bernabeu, 2015, page 14
9. Brans J.P., Mareschal, B., Vincke Ph., How to Select and How to Rank projects: The Promoithee method, Europian Journal of Operational Research, 24(2):228-238., 1986.
10. Brans J.P., Mareschal B., (1992), Promethee-V: MCDM Problems with Segmentation Constraints, vol. 30 (2), pp. 85-96
11. Bernal D., Restrepo I., Grueso-Casquete S., Key Criteria for Considering Decentralization in Municipal Wastewater Management, Heliyon, 7(3):e06375, doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e06375. PMID: 33869824; PMCID: PMC8035498, 2021.
12. Behzadian, M., Kazemzadeh, R. B., Albadvi, A., & Aghdasi, M.: PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. European Journal of Operational Research, 200(1), 198-215, 2010.
13. Brzusek A., Widomski M.K., Musz-Pomorska A., Socio-Economic Aspects of Centralized Wastewater System for Rural Settlement under Conditions of Eastern Poland, Water, 14, 1667, 2022. https://doi.org/10.3390/w14101667
14. Brans, J. P., & Vincke, P.: A Preference Ranking Organisation Method: The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision-Making, Management Science, 31(6), 647-656, 1985.
15. Brans JP., De Smet Y., PROMETHEE Methods, In: Greco S., Ehrgott M., Figueira J. (Eds.), Multiple Criteria Decision Analysis. International Series in Operations Research & Management Science, vol 233, Springer, New York, 2016. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3094-4_6.

16. Brans, J.P., Vincke, Ph., Marechal, B. (1986) "How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method; European Journal of Operational Research, 24, 228-238
17. Van Deun, J., et al., Maintenance and Management of Wastewater Treatment Plants, 2010.
18. Википедија: Christoffer Wilhelm Eckersberg: View of the Cloaca Maxima, Rome https://sh.m.wikipedia.org/wiki/Datoteka:View_of_the_Cloaca_Maxima_Rome_1814.jpg
19. Википедија https://sr.wikipedia.org/sr-ec/
20. Vymazal: Removal of Nutrients in Various Types of Constructed Wetlands, The Science of The Total Environment, August 2007.
21. Гавриловић Д., Статистички годишњак Републике Србије, Републички завод за статистику Републике Србије, Београд, 2023.
22. George T., Franklin B., H. David Sensel, Wastewater Engineering; Treatment and Reuse, Metcalf & Eddy, inc 1993.
23. Grabinsky J., Borja-Vega C., (2020), World Statistics Day: Five Key Statistics on Global Access to Water, Sanitation and Hygiene, On line at: https://blogs.worldbank.org/water/world-statistics-day-five-key-statistics-global-access-water-sanitation-and-hygiene
24. Група аутора, Здравствени индикатори животне средине у Републици Србији у 2015. години, Институт за јавно здравље Србије „Др Милан Јовановић Батут“, 2016.
25. Група аутора, Извештај о стању животне средине у Републици Србији за 2023. годину, Агенција за заштиту животне средине, Министарство заштите животне средине, Београд 2024.
26. Група аутора, Записник о извршеном прегледу лоалног водовода, (укупно 84 записника), Акциони план за решавање питања водоснабдевања града Краљева, Краљево 2015.
27. Good Practices for Regulating Wastewater Treatment: Legislation, Policies and Standards, The UNEP Global Wastewater Initiative in collaboration with WaterLex ISBN: 978-92-807-3474-4
28. Goodwin, P., & Wright, G., Decision Analysis for Management Judgment. Wiley, 2014.
29. Graham, M. W., The History of Sanitation in Western Society. McFarland, 2003.
30. Davor Malus, Dražen Vouk, Priručnik za učinkovitu primjenu biljnih uređaja za pročiščavanje sanitarnih otpadnih voda, Sveučilište u Zagrevu, Građevinski fakultet, 2012.
31. Davor Stanković, Constructed wetlands for wastewater treatment, Građevinar 69, 2017.
32. De Keyser W., Peeters P., A Note on the use of PROMETHEE Multicriteria Methods, European Journal of Operational Research, 89(3), 457–461. 1996.
33. Dewberry, J., Sustainable Development and Decision-Making. Routledge, 2013.
34. Драган Цветковић, Милан Деспотовић, Примена СБР система у пречишћавању комуналних отпадних вода са параметарским моделом постројења, Водопривреда, УДК: 628.35, 2011.

35. Драган Цветковић, Вања Шуштешич, Упоредни преглед карактеристика ротационих биодискова и секвенцијалних фазних реактора за третман комуналних отпадних вода, Водопривреда, УДК:628.35, 2011.
36. Др Небојша Вељковић, Студија отпадних вода и технички процес стратегије одрживог развоја Србије, Министарство науке и заштите животне средине Републике Србије, Агенција за заштиту животне средине, септембар 2005.
37. Diana Irvindiaty Hendrawan, Sulistyoweni Widanarko, Setyo Sarwanto Moersidik and Robertus Wahyudi Triweko, The Performance Of Subsurface Constructed Wetland For Domestic Wastewater Treatment, , International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) ISSN: 2278-0181
38. Doan, N.A.V., Smet, Y. De. An alternative weight sensitivity analysis for PROMETHEE II rankings. Omega, 80. 2018.
39. Free Water Surface Wetlands for Wastewater Treatment: A Tecnology assessment.pdf – EPA document
40. Закон о водама ("Сл. гласник РС", бр. 30/2010, 93/2012, 101/2016, 95/2018 и 95/2018 - др. закон)
41. Закон о комуналним делатностима ("Сл. гласник РС", бр. 88/201, 104/2016 и 95/2018)
42. Здравствени индикатори животне средине у Републици Србији у 2012. години, Институт за јавно здравље Србије „Др Милан Јовановић Батут“
43. Извештај о заразним болестима у Републици Србији за 2015. годину, Институт за јавно здравље Србије „др Милан Јовановић Батут”
44. Извештај о заразним болестима у Републици Србији за 2016. годину, Институт за јавно здравље Србије „др Милан Јовановић Батут”
45. Извештај о заразним болестима у Републици Србији за 2017. годину, Институт за јавно здравље Србије „др Милан Јовановић Батут”
46. Извештај о заразним болестима у Републици Србији за 2018. годину, Институт за јавно здравље Србије „др Милан Јовановић Батут”
47. Извештај о заразним болестима у Републици Србији за 2019. годину, Институт за јавно здравље Србије „др Милан Јовановић Батут”
48. Извештај о стању животне средине у Републици Србији за 2023. годину, Агенција за заштиту животне средине, Министарство заштите животне средине, Београд, 2024.
49. ЈКП „Водовод“ Сремска Митровица. На сајту: https://vodovodsm.rs/o-nama/vodosnabdevanje-80-000-stanovnika
50. J.P. Brans and P. Mareschal. The PROMETHEE GAIA decision support system for multicriteria investigations. Investigation Operativa, 1994.
51. J.P. Brans and B. Mareschal. The PROMETHEE VI procedure. How to differentiate hard from soft multicriteria problems. Journal of Decision Systems, 1995.
52. Kadlec R. H., Wallace S. D. Treatment Wetlands Second Edition. CRC Press: Boca Raton, Florida, 2009.
53. Љубисављевић Д., Ђукић А., Бабић Б., Пречишћавање отпадних вода, Грађевиснки факултет, Београд, 2004.

54. Macrotrends, World Rural Population 1960-2024, 2024. On line at: https://www.macrotrends.net/countries/WLD/world/rural-population
55. Malus i saradnici, Priručnik za učinkovitu primjenu uređaja, Pročišćavanje sintetskih otpadnih voda CEEPROJECT, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski Fakultet Zagreb (2012).
56. Maurer M., Rothenberger D., Larsen T.A., Decentralised Wastewater Treatment Technologies from a National Perspective: At what cost are they competitive?, Water Science & Technology, 5, 145–154. 2005.
57. Mareschal, B., & Brans, J. P.: Geometrical representations for MCDA: The GAIA module. European Journal of Operational Research, 34(1), 69-77, 1988.
58. Metcalf & Eddy, Inc., Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery. McGraw-Hill Education. 2014.
59. Министартсво заштите животне средине, Агенција за заштиту животне средине, На сајту: http://77.46.150.206/app/sqi/swqi.php?code=1
60. McNeill, J. R., Something New Under the Sun: An Environmental History of the Twentieth-Century World. W.W. Norton & Company, 2000.
61. Правилник о утврђивању водних тела површинских и подземних вода (Сл. гласник РС, број 96/2010).
62. Правилник о референтним условима за типове површинских вода (Сл. гласник РС, број 67/2011).
63. Правилник о параметрима еколошког и хемијског статуса површинских вода и параметрима хемијског и квантитативног статуса подземних вода (Сл. гласник РС, број 74/2011).
64. Philip L., Ramprasad C., Krithika D., Sustainable Wastewater Management Through Decentralized Systems: Case Studies, In: Pannirselvam M., Shu L., Griffin G., Philip L., Natarajan A., Hussain S. (Eds.), Water Scarcity and Ways to Reduce the Impact, Applied Environmental Science and Engineering for a Sustainable Future, Springer, https://doi.org/10.1007/978-3-319-75199-3_2, 2019.
65. Републички завод за статистику. На сајту: https://data.stat.gov.rs/Home/Result/25010307?languageCode=sr-Cyrl&displayMode=table&guid=2954c4c2-976d-4205-adda-aa261e35528e
66. Републички завод за статистику. На сајту: https://data.stat.gov.rs/Home/Result/25010307?languageCode=sr-Cyrl&displayMode=table&guid=2954c4c2-976d-4205-adda-aa261e35528e
67. Републички завод за статистику, Еко-билтен, табела број 4.1.4., Београд, 2017.
68. Републички завод за статистику, Попис 2022. године, Старост и пол, Подаци по насељима, Београд, 2023.
69. Richard W. Baker, Membrane Technology and Applications, ISBN:9780470020395 |DOI:10.1002/0470020393 2004.
70. R. G. Allen, S. A. McDonald, J. C. Stewart, Phytoremediation of Contaminated Soil and Water, 2004.
71. Ružinski, N., Anić Vučinić, A., Obrada otpadnih voda biljnim uređajima, Hrvatska sveučilišna naklada, Zagreb (2010).

72. Saaty, T.L., The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resources Allocation. McGraw-Hill, 1980.
73. Saller, R. P., Patriarchy, Property, and Death in the Roman Family. Cambridge University Press, 1994.
74. Спровођење Протокола о води и здрављу у Републици Србији, Анализа стања, Министарство здравља, Министартсво пољопривреде и заштите животне средине, Београд, новембар 2014.
75. Средњерочни план пословне стартегије и развоја од 2022-2026. године ЈКП-а „Водовод“ Краљево, Краљево, септембар 2021. Година
76. Стратегија одвођења и третмана отпадних вода општите Краљево, Краљево, октобар 2007. година
77. Singh, A. A review of wastewater irrigation: Environmental implications. Resour. Conserv. Recycl. 2021, 168, 105454.
78. Средњерочни план пословне стартегије и развоја од 2022-2026. године ЈКП-а „Водовод“ Краљево, Краљево, септембар 2021. година
79. Starkl M., Brunner N., Das S., Singh A., Sustainability Assessment for Wastewater Treatment Systems in Developing Countries, Water, 14, 241, 2022.
80. Стратегија одвођења и третмана отпадних вода општине Краљево, Краљево, октобар, 2007.
81. Suriyachan C., Nitivattananon V., Amin A.N., Potential of Decentralized Wastewater Management for Urban Development: Case of Bangkok, Habitat Internationbal, 36, 85–92, 2012.
82. Swan K.H., Surinkul N., Visvanathan C., Investigation of Decentralized Wastewater Treatment System in Urban Wastewater Management: Case Study in Yangon, Myanmar, Sustainability, 2023, 15, 16756, https://doi.org/10.3390/su152416756
83. Tannahill, R. Food and the Status of Women in the Ancient World. Harper & Row, 1992.
84. Tchobanoglous, G., & Burton, F. L., Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse. McGraw-Hill, 1991.
85. Tchobanoglous, G., et al., Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. McGraw-Hill, 2003.
86. Уредба о граничним вредностима загађујућих материја у површинским и подземним водама и седименту и роковима за њихово достизање (Сл. гласник РС, број 50/2012).
87. Уредба о граничним вредностима приоритетних и приоритетних хазардних супстанци које загађују површинске воде и роковима за њихово достизање (Сл. гласник РС, број 24/2014).
88. UN DESA, The World Urbanization Prospects United Nations Population Division's World Urbanization Prospects: 2022. Revision. On line at: https://www.un.org/uk/desa/68-world-population-projected-live-urban-areas-2050-says-un.
89. UNICEF, United Nations Children’s Fund, Snapshot of global and regional urban water, sanitation and hygiene inequalities, UNICEF, New York, 2020. On line at:

www.unicef.org/media/91561/file/Snapshot-of-global-and-regional-urban-water-sanitation-and-hygiene-inequalities.pdf,

90. UN Water, Summary Progress Update 2021 – SDG 6 – Water and Sanitation for all, Version: Geneva, Switzerland, July 2021. On line at: https://www.unwater.org/publications/summary-progress-update-2021-sdg-6-water-and-sanitation-all
91. USEPA, Manual, Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewater, 2000.
92. Figueira, J., Greco, S., & Ehrgott, M. (Eds.) Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys. Springer, 2005.
93. Hughes, J., The Great Pox: The French Disease in Renaissance Europe. Yale University Press, 2000.
94. Hudson J., Hogye S., Frederick R., Goo R., Kelly S., US EPA Program Strategy for Decentralized Wastewater Systems, Proceedings of the Water Environment Federation, 2005(10):5795-5801, DOI: 10.2175/193864705783856947, 2005.
95. Hoffmann, H., Platzer, C., Winker, M., von Muench, E.: Technology review of constructed wetlands; Subsurface flow constructed wetlands for greywater and domestic wastewater treatment, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ), Eschborn, 2011.
96. Capodaglio A.G., Integrated Decentralized Wastewater Management for Resource Recovery in Rural and Peri-Urban Areas, Resources, 6(2), 22, 2017.
97. Capodaglio A. G., Callegari A., Cecconet D., Molognoni D., Sustainability of Decentralized Wastewater Treatment Technologies, Water Practice and Technology, 12 (2): 463–477, 2017.
98. Cooper P.F. The performance of vertical flow constructed wetland systems with special reference to the significance of oxygen transfer and hydraulic loading rate. Water Science and Technology, 2005.
99. Čupić M., Tummala R.V.M., Suknović M., Odlučivanje: Formalni pristup, FON, Beograd, 2001.
100. Wang S., Values of Decentralized Systems that Avoid Investments in Idle Capacity Within the Wastewater Sector: A theoretical justification, Journal of Environmental Management, 136, 68–75, 2014.
101. Water Directive of treatment waste water, 91/271/EEC, Brussel.
102. Water Framework Directive WFD2000/60, Official Journal of EU, L 327/1, Brussel.
103. WHO/UNICEF, Progress on Household Drinking Water, Sanitation and Hygiene 2000-2020: Five years into the SDGs, Geneva: World Health Organization (WHO) and the United Nations Children's Fund (UNICEF), 2021, Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO, 2021. On line at: www.unwater.org/sites/default/files/app/uploads/2021/07/jmp-2021-wash-households-LAUNCH-VERSION.pdf.
104. Zhang, X., & Chen, G., Sequencing Batch Reactor Technology for Wastewater Treatment. Springer, 2014.