

UNIVERZITET U BANJOJ LUCI  
 FAKULTET: TEHNOLOŠKI FAKULTET U BANJOJ LUCI



UNIVERZITET U BANJA LUKI  
 TEHNOLOŠKI FAKULTET  
 BANJA LUKA

Primljeno: 06.07.2021.		LOGO:
BR. ZA:	VRST:	POSREDOVA:
157/1. 1183/21		PRIPISANOST:

**IZVJEŠTAJ**  
 o ocjeni urađene doktorske disertacije

**I PODACI O KOMISIJI**

Na osnovu člana 61. i 141. Zakona o visokom obrazovanju („Službeni Glasnik RS“, broj: 67/20), člana 54. Statuta Univerziteta u Banjoj Luci, člana 19. Statuta Naučno-nastavnog vijeća Tehnološkog fakulteta Univerziteta u Banjoj Luci i Odluke utvrđivanja uslova za produženje roka za odbranu doktorske disertacije koja je prijavljena u skladu sa Zakonom o univerzitetu („Službeni Glasnik RS“, broj: 12/93, 14/94, 99/04 i 92/05) od 25.02.2021.godine, Naučno-nastavno vijeće Tehnološkog fakulteta je na 8. sjednici održanoj dana 18.06.2021. donijelo Odluku broj: 15/3.1048-7/21 kojom je imenovana Komisija za pregled, ocjenu i odbranu urađene doktorske disertacije kandidatkinje mr Merime Toromanović pod nazivom „**Optimizacija rada pilot biljnog uređaja kod obrade otpadnih voda različitog stepena biorazgradivosti**“ u sastavu:

1. dr Saša Papuga, vanredni profesor, Tehnološki fakultet Banja Luka, Univerzitet u Banjoj Luci, uža naučna oblast – Ekološko inženjerstvo; **predsjednik**
2. dr Jasmina Ibrahimpašić, vanredni profesor, Biotehnički fakultet, Univerzitet u Bihaću, uža naučna oblast – Industrijska i okolišna biotehnologija; **mentor**
3. dr Ljiljana Topalić-Trivunović, redovni profesor, Tehnološki fakultet Banja Luka, Univerzitet u Banjoj Luci, uža naučna oblast – Mikrobiologija, biologija ćelije; **komentor**
4. dr Ifet Šišić, redovni profesor, Biotehnički fakultet, Univerzitet u Bihaću, uža naučna oblast – Mehaničko i procesno inženjerstvo; **član**
5. dr Dijana Drljača, docent, Tehnološki fakultet Banja Luka, Univerzitet u Banjoj Luci, uža naučna oblast – Neorganske hemijske tehnologije; **član**

Komisija je u predloženom roku pregledala i ocijenila doktorsku disertaciju kandidatkinje mr Merime Toromanović pod nazivom „**Optimizacija rada pilot biljnog uređaja kod obrade otpadnih voda različitog stepena biorazgradivosti**“, te u skladu sa važećim univerzitetskim pravilnicima i propisima Naučno-nastavnog vijeću Tehnološkog fakulteta Univerziteta u Banjoj Luci i Senatu Univerziteta u Banjoj Luci podnosi Izvještaj.

- 1) Navesti datum i organ koji je imenovao Komisiju;
- 2) Navesti sastav Komisije sa naznakom imena i prezimena svakog člana, naučno – nastavnog zvanja, naziva uže naučne oblasti za koju je izabran u zvanje i naziva univerziteta/fakulteta/instituta na kojem je član Komisije zaposlen.

## II PODACI O KANDIDATU

Mr Merima (Mirsad) Toromanović rođena je 19.11.1985.godine u Bihaću, Bosna i Hercegovina. Akademske 2004/2005 godine upisala je Biotehnički fakultet Univerziteta u Bihaću, smjer Prehrambena tehnologija. Diplomirala u decembru 2008. godine i stekla zvanje diplomirani inženjer prehrambene tehnologije. Akademske 2010/2011 upisuje magistarski studij na Biotehničkom fakultetu Univerziteta u Bihaću, smjer Prehrambeno inženjerstvo. Kandidatkinja je magistarski rad pod nazivom „Biološka razgradnja spojeva s azotom u otpadnoj vodi grada“ iz uže oblasti Industrijska i okolišna biotehnologija uspješno odbranila 28.02.2014. godine i stekla zvanje Magistar nauka prehrambene tehnologije (oblast Inženjerstvo i tehnologija).

Proceduru prijave doktorske disertacije kandidatkinja je započela 2016. godine. Odlukom Naučno-nastavnog vijeća Tehnološkog fakulteta Univerziteta u Banjoj Luci broj: 15/3.815-6/16 od 18.04.2016. godine imenovana je Komisija za ocjenu podobnosti teme „Optimizacija rada pilot biljnog uređaja kod obrade otpadnih voda različitog stepena biorazgradivosti“ kandidatkinje mr Merime Toromanović. Na 79. redovnoj sjednici, održanoj dana 19.05.2016., Naučno-nastavno vijeće Tehnološkog fakulteta je donijelo Odluku o usvajanju Izvještaja komisije o ocjeni podobnosti teme i kandidata za izradu doktorske disertacije kandidatkinje mr. Merime Toromanović. Za mentora pri izradi disertacije imenovana je dr.sc. Jasmina Ibrahimpašić, vanr.prof., a za komentora dr. Lijljana Topalić – Trivunović, red. prof.

Mr. Merima Toromanović je od trenutka prijave doktorske disertacije autor i koautor brojnih radova iz oblasti Industrijska i okolišna biotehnologija, a kojoj pripada i istraživanje rađeno u ovoj doktorskoj disertaciji. Neki od objavljenih radova:

1. **Toromanović, M.**, Ibrahimpašić, J. (2016) Ammonium removal from municipal wastewater with nitrification and denitrification. XI Conference of Chemist, Technologists and Environmentalist of Republic of Srpska, University of Banja Luka, Faculty of Technology. 18. i 19.11.2016., Banja Luka, Book of Proceedings, pp. 569 – 574.
2. Pehlić, E., Šapčanin, A., Jukić, H., Džaferović, A., Dedić, S., Ljubijankić, N., **Toromanović, M.**, Salkić, K. (2016) Concentrations of toxic and essential heavy metals in drinking water in the area of eight municipalities of the Una – Sana Canton. XI Conference of Chemist, Technologists and Environmentalist of Republic of Srpska, University of Banja Luka, Faculty of Technology, Banja Luka, Book of Proceedings, pp. 582 - 587.
3. Ibrahimpašić, J., **Toromanović, M.** (2017) Prečišćavanje otpadnih voda u biljnim uređajima. Konferencija 22. Mart – Svjetski dan voda, 22. i 23.03.2017., Zenica, Bosna i Hercegovina. Usmeno izlaganje.
4. **Toromanović, M.**, Zulić, J., Demirović, S., Ibrahimpašić, J., Veladžić, M., Žapčević, M., Abdić, M. (2017) Praćenje parametara kvaliteta komunalne otpadne vode u nastavnom centru „Grmeč“ ovisno o brzini protoka. Peti naučno-stručni skup sa međunarodnim učešćem „5. Juni-Svjetski dan zaštite okoliša“. Bihać, 29. i 30.06.2017., Bosna i Hercegovina. Zbornik radova str. 261 – 268.
5. Ibrahimpašić, J., **Toromanović, M.** (2017) Denitrification dairy wastewater with microbial cultures of nitrificants and denitrificants. Works of the Faculty of Agriculture and Food Sciences, University of Sarajevo. Vol. LXII, No. 67/1, pp. 191 – 198.
6. **Toromanović, M.**, Ibrahimpašić, J., Topalić – Trivunović, Lj., Šišić, I. (2017)

Effectiveness of municipal wastewater purification in the "Grmeč" teaching center using pilot – scale constructed wetland as unconventional method for biological treatment“. 5<sup>th</sup> Scientific Symposium with international participation „ENVIRONMENTAL RESOURCES, SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND FOOD PRODUCTION“ OPORPH 2017, November 16-17, 2017, Tuzla, Bosnia and Herzegovina. Technologica Acta - Scientific/professional journal of chemistry and technology, Faculty of Technology, University in Tuzla, pp. 15 – 20.

7. **Toromanović, M.**, Ibrahimpašić, J., Topalić-Trivunović, Lj., Šišić, I. (2018) Removal of organic pollutants from municipal wastewater by a horizontal pilot - scale constructed wetland utilizing *Phragmites australis* and *Typha latifolia* - Effectiveness monitoring per season. International Scientific Conference „XII Conference of Chemists, Technologists and Environmentalists of Republic of Srpska“, 02 – 03 November 2018, Banja Luka, Bosnia and Herzegovina. Gazette of Chemists, Technologists and Environmentalists of Republic of Srpska 14 (2018), Faculty of Technology, University of Banja Luka, pp. 39 – 44.
8. **Toromanović, M.**, Ibrahimpašić, J., Čavkunović, M. (2019) Comparative analysis of compost production in laboratory conditions. 12th International Scientific Conference on Production Engineering, 18. – 20.09.2019., Sarajevo, Bosnia and Herzegovina. Book of Proceedings, University of Bihać, Faculty of Engineering Sciences, pp. 531 – 536.
9. Grgas, D., Ugrina, M., **Toromanović, M.**, Ibrahimpašić, J., Štefanac, T., Landeka Dragičević, T. (2020) Fish canning wastewater treatment in sequencing batch reactor with activated sludge. The Holistic Approach to Environment Vol.10 No. 2, pp. 29 – 34.
10. Ibrahimpašić, J., Jogić, V., **Toromanović, M.**, Džaferović, A., Makić, H., Dedić, S. (2020). Japanese Knotweed (*Reynoutria japonica*) as a phytoremediator of heavy metals. Original scientific paper. Journal of Agricultural, Food and Environmental Sciences. Vol 74, No 2, p.p. 45-53.

Na osnovu navedenog vidljivo je da je mr Merima Toromanović istraživač sa verifikovanim naučno-istraživačkim rezultatima i stručnim radom u naučnom polju industrijska biotehnologija i naučnom polju hemijsko inženjerstvo, iz kojih je i napisana doktorska disertacija.

- 1) Ime, ime jednog roditelja, prezime;
- 2) Datum rođenja, opština, država,
- 3) Naziv univerziteta i fakulteta i naziv studijskog programa akademskih studija, odnosno poslijediplomskih magistarskih studija i stečeno stručno/naučno zvanje;
- 4) Fakultet, naziv magistarske teze, naučna oblast i datum odbrane magistarskog rada;
- 5) Naučna oblast iz koje je stečeno naučno zvanje magistra nauka/akademsko zvanje mastera;
- 6) Godina upisa na doktorske studije i naziv studijskog programa.

### III UVODNI DIO OCJENE DOKTORSKE DISERTACIJE

Senat Univerziteta u Banjoj Luci je dana 23.06.2016. godine donio Odluku broj: 02/04-3.1589-91/16 kojom se daje saglasnost na Izvještaj o ocjeni podobnosti teme, kandidata i mentora za izradu doktorske disertacije na Tehnološkom fakultetu doktorantice mr Merime Toromanović pod nazivom „Optimizacija rada pilot biljnog uređaja kod obrade otpadnih voda različitog stepena biorazgradivosti“.

Doktorska disertacija kandidatkinje mr Merime Toromanović je napisana latiničnim pismom (font Times New Roman, veličina slova 12, prored 1,5 i format A4). Disertacija je napisano jasno i jezički ispravno na 223 stranice pisanog teksta. Doktorska disertacija sadrži 23 tabele, 42 slike i 66 grafikona. U disertaciji je korišteno 320 literaturnih izvora.

Sadržaj doktorske disertacije predstavljen je sljedećim poglavljima:

1.	UVOD .....	1
2.	PREGLED LITERATURE .....	4
3.	CILJ RADA I HIPOTEZA .....	54
4.	MATERIJALI I METODE RADA .....	56
5.	REZULTATI I DISKUSIJA .....	71
6.	ZAKLJUČAK .....	187
7.	LITERATURA .....	191
8.	PRILOZI .....	218

Na početku doktorske disertacije se nalazi 21 stranica koje nisu numerisane, a na kojima se nalaze naslov i sažetak rada na jeziku bošnjačkog naroda (bosanskom) i engleskom jeziku, popis tabela, slika, grafikona i skraćenica, sadržaj, te zahvalnica za doprinos prilikom izrade doktorske disertacije. Na kraju disertacije se nalazi 6 stranica koje nisu numerisane, a na kojima se nalazi biografija autora, kao i tri izjave prema Pravilniku o digitalnom repozitorijumu.

- 1) Naslov doktorske disertacije;
- 2) Vrijeme i organ koji je prihvatio doktorsku disertaciju;
- 3) Sadržaj doktorske disertacije sa straničenjem;
- 4) Istaći osnovne podatke o doktorskoj disertaciji: obim, broj tabela, slika, šema, grafikona, broj citirane literature i navesti poglavlja.

#### IV UVOD I PREGLED LITERAURE

Posljednjih godina količina otpadnih voda koje nastaju kao posljedica ljudskih aktivnosti se povećala usljed poboljšanja životnog standarda, procesa industrijalizacije i urbanizacije. Prikupljanje i prečišćavanje otpadnih voda predstavlja prioritetni izazov u zaštiti životne sredine za svaku regiju, pa tako i za cijeli Unsko-sanski kanton. U svrhu rješavanja tog problema realizovan je projekat izgradnje edukacionog horizontalnog pilot biljnog uređaja sa podpovršinskim tokom vode na Biotehničkom fakultetu Univerziteta u Bihaću, a na kojem je rađena doktorska disertacija kandidatkinje mr Merime Toromanović.

**Cilj ovog istraživanja** je određivanje optimalnih parametara procesa razgradnje razgradivih i teško razgradivih otpadnih voda i utvrđivanje efikasnosti njihovog prečišćavanja primjenom ovog pilot biljnog uređaja. U cilju dobijanja relevantnih podataka za planirana istraživanja neophodno je bilo praćenje i analiza fizičko-hemijskih parametara kvaliteta tri vrste otpadnih voda (komunalna, tehnološka i sintetska) na ulazu i izlazu iz biljnog uređaja. Posebna pažnja posvećena je praćenju promjena u sastavu i količini otpadne vode, poredeći te vrijednosti sa teoretski očekivanim, a s ciljem dobijanja izlaznih vrijednosti parametara u skladu sa zakonskom regulativom i Uredbom o uslovima ispuštanja otpadnih voda u životnu sredinu i sisteme javne kanalizacije (Sl. Novine Federacije BiH, br.26/20). Efikasnost prečišćavanja različitih vrsta otpadnih voda kontinuirano se pratila po sezonama. Ovo istraživanje je poslužilo kao osnova za izbor vrste i stepena opterećenja otpadnih voda koje će se kasnije prečišćavati na ovom pilot biljnom uređaju. Sve ovo daje smjernice za daljna istraživanja u cilju detaljnih analiza i praćenja razgradivih i teško razgradivih otpadnih voda, kao i postizanja optimalnih parametara za njihovo prečišćavanje. Takođe, ovaj rad ima za cilj da promoviše primjenu biljnih uređaja kao ekonomski prihvatljive tehnologije za prečišćavanje različitih vrsta otpadnih voda, a koje karakterišu niske cijene i visoka efikasnost.

Postavljeni ciljevi i odabrani pristupi problemu rješavanja otpadnih voda različitog stepena biorazgradivosti odredili su nekoliko osnovnih polaznih **naučnih hipoteza** ove doktorske disertacije i to:

- Parametri procesa: protok, hidrauličko vrijeme zadržavanja (HVZ), koncentracija onečišćenja u influentu i klimatski uslovi direktno utiču na efikasnost rada biljnog uređaja;
- Uvođenjem funkcionalne zavisnosti između postavljenih parametara (protok, hidrauličko vrijeme zadržavanja (HVZ), klimatski uslovi, vrsta otpadne vode), mogu se postići optimalni uslovi za razgradnju prisutne organske materije i drugih primjesa (jedinjenja azota i fosfora) u otpadnoj vodi;
- Variranjem masenog dotoka organskih materija (kgBPK<sub>5</sub>/d i kgHPK/d) za komunalne i tehnološke otpadne vode uz definisane hidrološke uslove, moguće je procijeniti optimalno opterećenje biljnog uređaja, odnosno postići maksimalnu efikasnost rada uređaja;
- Parametri procesa - protok otpadne vode i hidrauličko vrijeme zadržavanja (HVZ) direktno utiču na stepen uklanjanja teških metala (Fe, Pb, Cd, Zn, Cr i Co) iz sintetske otpadne vode u kojoj je njihova koncentracija za 5 do 10 puta veća od zakonski maksimalno dozvoljenih koncentracija (MDK);
- Sezonske varijacije, odnosno različiti klimatski uslovi različito utiču na efikasnost prečišćavanja otpadnih voda u biljnom uređaju, odnosno očekuje se povećana efikasnost tokom ljetnog perioda.

Otpadna voda je svaka voda čiji kvalitet je izmijenjen kao posljedica različitih aktivnosti. Sadrži tečni otpad koji se ispušta iz domaćinstva, komercijalnih usluga, industrije i/ili poljoprivrede i može obuhvatati širok spektar potencijalnih onečišćivača i njihovih različitih koncentracija (Benit i Stella, 2015). Sastav otpadnih voda varira, od prisustva deterdženata i ostataka hrane u otpadnim vodama iz domaćinstva, do otrovnijih hemikalija, poput teških metala, lijekova i ispraljivih organskih jedinjenja u industrijskim otpadnim vodama (Akuzuo, 2011). Biljni uređaji su kompleksni biološki sistemi koji su projektovani i izgrađeni na način da se iskoriste prirodni procesi koji se dešavaju u močvarnom bilju i zemljištu, uključujući i mikroorganizme koji učestvuju u prečišćavanju vode. Oni su projektovani tako da oponašaju procese koji se dešavaju u prirodnim močvarama, ali pod kontrolisanim uslovima (Vymazal, 2010; Nadilo, 2013). Ovi sistemi se uglavnom sastoje od određene vegetacije, supstrata, zemljišta, mikroorganizma i vode, koristeći kompleksne postupke koji uključuju fizičke, hemijske i biološke mehanizme za uklanjanje raznih onečišćujućih materija ili za poboljšanje kvaliteta vode (Wua i sar., 2015). Prema načinu ulaska otpadne vode podpovršinski biljni uređaji mogu se podijeliti na (Ružinski i Anić Vučinić, 2010):

- vertikalni – otpadna voda uzlazi kroz površinu uređaja i procjeđuje se, a skuplja se na dnu i odvodi perforiranim cijevima do izlaza, supstrat nije uvijek zasićen pa se kiseonik lakše difuzijom prenosi iz atmosfere u vodeni medijum, i
- horizontalni – otpadna voda ulazi i teče kroz njega horizontalno do izlazne zone, supstrat je stalno zasićen te se kiseonik iz atmosfere u vodeni medij najvećim dijelom prenosi uz pomoć biljaka.

Horizontalni biljni uređaj sa podpovršinskim tokom vode, kakav se i koristio u ovom istraživanju, u današnje vrijeme se ne koristi samo za komunalne otpadne vode, nego i za uklanjanje nekih specifičnih onečišćujućih materija iz farmaceutske i hemijske industrije. Voda, zemljište i vegetacija su osnovne komponente prirodnih močvara, ali i konstruisanih biljnih uređaja. Ostale važne komponente ovih sistema, poput zajednica mikroorganizama i vodenih beskičmenjaka razvijaju se prirodno. Biljni uređaji tokom

prečišćavanja otpadnih voda oponašaju prirodne procese koji se odvijaju u močvarama (Paul Emeka Eke, 2008.).

Makrofiti koji se najčešće koriste u biljnim uređajima uključuju podzemne i nadzemne dijelove biljaka koje se učvršćuju, kao i plutajuće biljke. Iako više od 150 makrofitskih vrsta mogu imati primjenu u biljnim uređajima, danas se u stvarnosti koristi samo ograničen broj ovih biljnih vrsta. Biljke koje se najčešće sade i siju u sklopu močvarnih sistema za prečišćavanje otpadnih voda su trska (*Phragmites australis*), rogoz (*Typha latifolia*), uspravni ježinac (*Sparganium erectum*), obični oblič (*Scirpus lacustris*), žuta perunika (*Iris pseudacorus*), šaševi (*Carex sp.*) itd. (Wu i sar., 2014). Ovisno o biljnoj vegetaciji koja se koristi, postiže se raznolika efikasnost uklanjanja jedinjenja sa azotom, fosforom i ugljikom. Tako npr. Debing i sar. (2009) ukazuju na efikasnije uklanjanje organskih materija, kao i uklanjanje ukupnog azota i ukupnog fosfora kod istovremene primjene biljnih vrsta *Typha-Phragmites-Scirpus*. Nadalje, neki autori (Langergraber i sar, 2009.) ukazuju i na sposobnost uklanjanja azota za 53% upotrebom dvofaznog biljnog uređaja sa punjenjem različitih granulacija. Neki autori su u svojim istraživanjima dokazali da upotrebom biljnih uređaja zasađenih sa trskom, sa različitim supstratima (šljunak i pijesak, različitih granulacija) i sa različitim hidrauličkim opterećenjem i različitim vremenom zadržavanja (retencijsko vrijeme) otpadne vode u biljnom uređaju postižu uklanjanje ukupnih suspendovanih materija (TSS – *Total suspended solids*) za 62-64%, HPK, 40-49%, NH<sub>4</sub>-N za 88%, ukupnog azota za 44 %, ukupnog fosfora za 63% (Korkusuz, E. A.i sar., 2004). Osim sposobnosti da eliminiiraju hranjive materije, onečišćenja i toksične materije, biljni uređaji su efikasni i za uklanjanje patogenih mikroorganizama. Baskar i sar. (2014) ispitivali su efikasnost prečišćavanja biljnih uređaja zavisno od vrste vegetacije, te su istraživanje proveli na dva mala pilot biljna uređaja. U jedan su zasadili *Typha latifolia*, a u drugi *Phragmites australis*, te kroz uređaj pustili komunalnu otpadnu vodu. Hidrauličko vrijeme zadržavanja je bilo 2, 4, 6 i 8 dana. U uređaju u kojem je bio zasaden *Phragmites australis*, uz pomenuto vrijeme zadržavanja, efikasnost uklanjanja organskih sastojaka izraženih kao HPK vrijednost je iznosila 39%, 44%, 64% i 69%, respektivno. Efikasnost uklanjanja organskih sastojaka izraženih kao BPK<sub>5</sub> iznosila je 29%, 21%, 43% i 56%. Efikasnost uklanjanja ukupnog azota je 23%, 7%, 31% i 45%, a ukupnog fosfora 25%, 28%, 39% i 75%, respektivno. U uređaju u kojem je bila zasadena *Typha latifolia* efikasnost uklanjanja organskih sastojaka izraženih kao HPK vrijednost je iznosila 31%, 37%, 73% i 68%. Efikasnost uklanjanja organskih sastojaka izraženih kao BPK<sub>5</sub> iznosila je 25%, 30%, 46% i 52%, respektivno. Efikasnost uklanjanja ukupnog azota bila je 26%, 17%, 34% i 36%, a ukupnog fosfora 40%, 50%, 48% i 77% za hidrauličko vrijeme zadržavanja od 2, 4, 6 i 8 dana, respektivno. Istraživanja su pokazala da se u uređajima u kojima su prisutne dvije biljne vrste postiže bolja efikasnost prečišćavanja nego u onim uređajima u kojima je nalazi samo jedna biljna vrsta (Mudassar i sar., 2014).

Neki od zahtjeva koji se postavljaju kod izgrade biljnih uređaja su (Šišić i sar.,2016):

- efikasno uklanjanje jedinjenja azota, fosfora i drugih toksičnih materija, dok su glavni tehnički kriterijumi rada uređaja:
- osobine i kvalitet prečišćavanja (stabilnost procesa),
- pouzdanost u pogledu rada i održavanja i
- smanjena osjetljivost na varijacije opterećenja.

Biljni uređaj treba biti projektovan za ukljanjanje tih karakteristika do dozvoljenih ograničenja. Projektovanje uređaja podrazumijeva određivanje hidrauličkog kapaciteta, nivoa opterećenja, vremena zadržavanja (reteniranja), vrste biljaka (Lawrence, 2010).

Hidraulički kapacitet može se definisati kao sposobnost biljnog uređaja da prečisti

određeni volumen otpadne vode u datom vremenu. Ovo razdoblje se naziva hidrauličko vrijeme reteniranja (HRT - *Hydraulic retention time*), zavisno je od veličine zagađenja i zadanom nivou prečišćavanja. Karakteristično vrijeme zadržavanja za uklanjanje BPK<sub>5</sub> je 2-5 dana i 7-14 dana za uklanjanje azota.

Procjena hidrauličkog opterećenja sistema osnova je provođenja procjene hidrauličkog opterećenja sistema za definisanje specifičnog dotoka otpadnih voda ( $q_{spec} = l / \text{stanovnik} \cdot d$ ) na uređaj za prečišćavanje i kretanja broja priključenih stanovnika unutar razmatranog planskog razdoblja. Vrijednost specifičnog dotoka otpadnih voda često se definiše u odnosu na poznate podatke o potrošnji vode, ukoliko su raspoloživi (Lawrence, 2010). Osnovna koncepcija rada biljnog uređaja proizišla je iz nekoliko stajališta (Šišić i sar., 2016):

1. Uređaj treba pokazati pod kojim režimskim uslovima može zadovoljiti parametre kvalitete voda koje se ispuštaju u vodotok;
2. Svi sadržaji uređaja za prečišćavanje moraju funkcionisati kao zatvoreni sistem sa mogućnostima podešavanja vrsta i količine vode;
3. Uređaj mora imati mogućnost faznog rada u pogledu priključenog broja ES (ekvivalent stanovnika);
4. Uređaj treba da ima mogućnost dogradnje ili rekonstrukcije u pogledu unaprijeđenja tokova procesa obrade voda ili izgradnje dopunske jedinice, tj. pozicije;
5. Uređaj treba biti fleksibilan u pogledu podešavanja količina i vrsta otpadnih voda a po zahtjevima efikasnosti prečišćavanja (optimalni uslovi i hidraulično opterećenje).

Primjena biljnih uređaja je prepoznata kao široko prihvaćena i jeftina eko tehnologija, koja je posebno korisna u tretmanu komunalnih otpadnih voda manjih gradova, koji ne mogu finansijski podržati skupe, konvencionalne sisteme za prečišćavanje (Sirianuntapiboon i sar., 2006.).

Potencijal biljnog uređaja za prečišćavanje otpadnih voda manjih naselja ispitan je i u Nepalju (Laber i sar., 2000.). Korišten je hibridni sistem koji se sastojao od horizontalnog i vertikalnog polja (140 m<sup>2</sup> horizontalno polje i 120 m<sup>2</sup> vertikalno polje) sa *Phragmites karka*, a istraživanje je trajalo godinu dana. Pri hidrauličkom opterećenju od 107 mm/d, efikasnost uklanjanja HPK, BPK<sub>5</sub>, ukupnog azota, ukupnog fosfora, ukupnih koliformnih bakterija, *Escherichie coli*, *Streptococcus sp.* i ukupnih rastvorljivih materija iznosila je 93%, 97%, 99,7%, 74%, 99,99%, 99,995%, 99,97% i 98%. U prečišćavanju komunalnih otpadnih voda primjenom biljnog uređaja može se postići visoka efikasnost prečišćavanja, zavisno od dizajna samog uređaja, i to 60-88% u uklanjanju BPK<sub>5</sub> i 60-90% u uklanjanju suspendovanih materija (Zaimoglu, 2006.).

Danas se biljni uređaji koriste za prečišćavanje otpadnih voda iz industrije proizvodnje vina, maslinovog ulja, industrije šećera, škroba, alkohola i mesa (Kadlec i Wallace, 2009). Uspješno se primjenjuju za obradu industrijskih otpadnih voda sa farmi, klaonice, procjednih voda sa odlagališta otpada i oborinskih dotoka sa saobraćajnicama (Malus i Vouk, 2012). Karakteristike otpadnih voda iz mljekarske industrije mogu značajno varirati, zavisno o finalnom proizvodu i metodama koje se koriste u proizvodnji. Biljni uređaji se mogu koristiti za prečišćavanje otpadnih voda iz mljekarske industrije, s tim što je potrebno izvršiti prethodno uklanjanje masnoća iz otpadne vode (Comino i sar., 2011.), ili čak uklanjanje masnoća uz razrijeđivanje pomoću komunalne otpadne vode (Farnet i sar., 2008.). Carvalho i sar. (2013) su istraživali primjenu biljnog uređaja za obradu otpadnih voda iz industrije proizvodnje sira i zaključili da se biljni uređaji mogu koristiti za prečišćavanje ovih otpadnih voda, ali uz njihovo razrjeđenje, tj. zavisno od količine komunalnih otpadnih voda, vode za pranje i količini sirutke u ovim otpadnim vodama. Farnet i sar. (2009.) su u svojim istraživanjima došli do rezultata po kojima je efikasnost uklanjanja organskih sastojaka izraženih kao HPK iz otpadne vode mljekarske industrije

čak 76%, i to bez prethodnog razrjeđenja otpadne vode. Prethodna obrada otpadne vode iz mljekarske industrije pomoću anaerobne biološke razgradnje može povećati efikasnost uklanjanja organskih sastojaka izraženih kao HPK i do 94% (Travis i sar., 2012.).

Osnovni teški metali povezani s otpadnim vodama i industrijom su hrom, željezo, živa, bakar, olovo, kadmijum i cink (Thullen i sar., 2005.). Metali se uglavnom zadržavaju u zemljištu ili u supstratu. Ameršek i sar., 2011. opisuju efikasnost uklanjanja teških metala u horizontalnom i vertikalnom modelnom biljnom uređaju kapaciteta 0,3 m<sup>3</sup>, sa ispunom od karbonatnog pijeska različitih frakcija (0-8 mm) i zasađenih sa trskom, *Phragmites australis*. Oba modela imaju hidrauličko vrijeme zadržavanja od 60 h, a kroz uređaj je prolazila sintetska otpadna voda, u koju su dodavane otopine teških metala: hroma, željeza, nikla, bakra, cinka, kadmijuma i olova u koncentracijama za 5 do 10 ili čak 100 puta većim od zakonski maksimalno dozvoljenih koncentracija (MDK). Rezultati istraživanja pokazuju da se efikasnost uklanjanja teških metala za obje izvedbe uređaja, vertikalni i horizontalni, kreće od 73- 99 %. Najveća efikasnost se pokazala u uklanjanju kadmijuma i olova, a najmanja cinka i antimona.

Prirodni sistemi za prečišćavanje otpadnih voda razlikuju se od konvencionalnih sistema u pogledu održivosti. Koriste prirodnu obnovljivu energiju, oslanjaju se na atmosfersku difuziju i/ili fotosintezu kao glavni izvor kiseonika, a izrađeni su od minimalno umjetnih materijala. U toku rada ne stvaraju buku i nema neugodnih mirisa. Ipak zahtijevaju veću površinu zemlje nego konvencionalni sistem (Karajić, 2014.). Osim adekvatnog prečišćavanja otpadnih voda, upotreba biljaka u ove svrhe rezultuje i proizvodnjom viška biomase, koja se može koristiti u razne svrhe, poput proizvodnje energije, stočne hrane, pa čak i proizvodnje proteina (Gray, 2004.).

#### Literatura citirana u doktorskoj disertaciji a navedena u ovom dijelu Izvještaja:

1. Akuzo Ofoefule, E. U. A. C. I. (2011). Wastewater: Treatment Options and its Associated Benefits. Einschlag, P. F. S. G. (ed.) Wastewater - Evaluation and Management. InTech.
2. Ameršek, I., Ščančar, J., Milačič, R., Istenič, D. (2011.). The Performance of Vertical and Horizontal Constructed Wetland Models in Removal of Heavy Metals from Water. Joint Meeting Of Society Of Wetland Scientist, Wetpol And Wetland Biogeochemistry Symposium, 3-8 July, Prague, Czech Republic.
3. Baskar, G., Deeptha, V., T., Annadurai, R. (2014.). Comparison of treatment performance between constructed wetlands with different plants, International Journal of Research in Engineering and Technology, Volume 03, Issue 04, p.p. 210 – 214.
4. Carvalho, F., Prazeres, A., Rivas, J. (2013.). Cheese whey wastewater: Characterization and treatment. Science of the Total Environment 445-446, p.p. 385-396.
5. Comino E, Riggio, V., Rosso, M. (2011.). Mountain cheese factory wastewater treatment with the use of a hybrid constructed wetland, Ecol Eng. 37, p.p. 1673-1680.
6. Debing, J., Z., Lianbi, Y., Xiaosong, H., Jianming, Z., Mengbin, W., Yuzhong (2009.). COD, TN and TP Removal of *Typha* Wetland Vegetation of Different Structures. Polish J. of Environ. Stud. Vol. 18, No. 2, p.p. 183-190.
7. Farnet, AM, Prudent, P., Cigna, M., Gros, R. (2008.). Soil microbial activities in a constructed soil reed-bed under cheese-dairy farm effluents. Bioresour. Technol. 99, p.p. 6198-6260.
8. Farnet, AM, Prudent, P., Ziarelli, F., Domeizel, M., Gros, R. (2009.). Solid state <sup>13</sup>CNMR to assess organic matter transformation in a subsurface wetland under cheese-dairy farm effluents. Bioresour. Technol. 100, , p.p. 4899-4902.



9. Gray N. F. (2004.) *Biology of Wastewater Treatment*. 2nd edition. Vol. 4. Imperial College Press. London: p.p. 641- 733.
10. Kadlec, R.H. and Wallace, S.D. (2009). *Treatment wetlands*, 2<sup>nd</sup> edition. CRC Press, Boca Raton, Florida.
11. Karajić M. (2014.). *Water salinity and the efficiency of constructed wetlands*. Doctoral dissertation. University of Nova Gorica, Graduate School. p.p. 43.
12. Korkusuz, E.A., Beklioglu, M., Demirel, G.N. (2004.). *Treatment Efficiencies of the Vertical Flow Pilot-Scale Constructed Wetlands for Domestic Wastewater Treatment*. *Turkish J. Eng. Env.Sci.*28, p.p.333-344.
13. Laber, J., Haberl, R., Perfler, R., Langergraber, G., (2000.). *Influence of Substrate Clogging on the Treatment Capacity of a Vertical-Flow Constructed Wetland System*. In: *Proceedings of the IWA 1<sup>st</sup> International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*, Lake Buena Vista, Florida.
14. Langergraber, G., Leroch, K., Pressl, A., Sleytr, K., Rohrhofer, R., Haberl, R. (2009.). *High-rate nitrogen removal in a two-stage subsurface vertical flow constructed wetland*. *Desalination* 246:, p.p. 55-68.
15. Lawrence K. (2010). *Environmental Bioengineering: Idris A at all: Wetlands for wastewater treatments*. *Handbook of Environmental Engineering.*, p.p. 317-350.
16. Malus, D., Vouk, D. (2012.). *Priručnik za učinkovitu primjenu biljnih uređaja za prečišćavanje sanitarnih otpadnih voda*, Građevinski fakultet, Sveučilište u Zagrebu.
17. Mudassar, F., Muhammad, I., Muhammad, F., Awan, Z. A., Eneji, A. E., Naureen, A. (2014.). *Effect of Cyclic Phytoremediation with Different Wetland Plants on Municipal Wastewater*. *Int. J. Phytoremediat.*, 16 (6), p.p. 572 - 581.
18. N. Benit and A. Stella Roslin (2015). *Physicochemical properties of wastewater collected from different sewage sources*. *IJSET - International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, Vol. 2 Issue 11, p.p. 691 – 696.
19. Nadilo, B. (2013.). *Biljni uređaj za prečišćavanje otpadnih voda u Vrlici*. *Građevinar*, 10, str. 931 – 941.
20. Paul Emeka Eke (2008.). *Hydrocarbon removal with constructed wetlands*. Doctoral thesis. The University of Edinburgh.
21. Ružinski, N., Anić Vučinić, A. (2010.). *Obrada otpadnih voda biljnim uređajima*. Hrvatska sveučilišna naklada, Zagreb.
22. Šišić, I., Ibrahimpašić, J., Toromanović, M. (2016.). *Upravljanje procesom obrade otpadnih voda NC „Grmeč“ na biljnom uređaju uz očekivane poremećaje*. Četvrti naučno-stručni skup "5.Juni - Svjetski dan zaštite okoliša", Bihać. *Zbornik radova*, str. 300 – 310.
23. Thullen, J.S., Sartoris, J.J., Nelson, S.M. (2005.). *Managing vegetation in surface-flow wastewater treatment wetlands for optimal treatment performance*. *Ecological Engineering*, 25, p.p. 583-593.
24. Travis, MJ, Weisbrod, N., Gross, A. (2012.). *Decentralized wetland-based treatment of oil rich farm wastewater for reuse in an arid environment*. *Ecol. Eng.* 30, p.p. 81–89.
25. *Uredba o uslovima i spuštanja otpadnih voda u okoliš i sisteme javne kanalizacije* (Sl. Novine Federacije BiH, br.26/20).
26. Vymazal, J. (2010.). *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*. *Water Research*, 2, p.p. 530 – 549.
27. Wu, S., Kusch, P., Brix, H., Vymazal, J., Dong, R. (2014.). *Development of constructed wetlands in performance intensifications for wastewater treatment: A nitrogen and organic matter targeted review*, *Water research* 57, p.p. 40 – 55.

28. Wua, H., Zhang, J., Ngo, Huu H., Guo, W., Hub, Z., Liang, S., Fan, J., Liu, H. (2015.). A review on the sustainability of constructed wetlands for wastewater treatment: Design and operation, *Bioresource Technology* 175, p.p. 594–601.
29. Zeynep Zaimoglu (2006.). Treatment of campus wastewater by a pilot-scale constructed wetland utilizing *Typha latifolia*, *Juncus acutus* and *Iris versicolor*. *Journal of Environmental Biology*. 27(2) p.p. 293-298.

Istraživanje provedeno u ovoj doktorskoj disertaciji je doprinijelo rješavanju problema zbrinjavanja i odvodnje otpadnih voda u sklopu Nastavnog centra „Grmeč“. Pilot biljni uređaj korišten za tretman otpadnih voda u ovom istraživanju je pokazao visoku efikasnost prečišćavanja tokom svih godišnjih doba, pa prečišćena otpadna voda prilikom ispuštanja u prirodni recipijent (potoko Drobinica) nije dovela do poremećaja ekološke ravnoteže. Naučni doprinos ove disertacije se ogleda u tome da bi rezultati ovih istraživanja mogli predstavljati značajan doprinos zaštiti i upravljanju životnom sredinom kao jednom od strateških pravaca istraživanja u BiH i implementaciji biljnih uređaja, kao metode ekoremedijacije, ekološki prihvatljive tehnologije u Bosni i Hercegovini. Primjenom simulacijskih softvera i korištenjem rezultata dobijenih istraživanjem na ovom edukacionom pilot biljnom uređaju, moguće je dobiti podatke o optimalnim uslovima rada biljnog uređaja koji se mogu primijeniti u realnim uslovima na većim biljnim uređajima za tretman različitih vrsta otpadnih voda.

- 1) Ukratko istaći razlog zbog kojih su istraživanja preduzeta i predstaviti problem, predmet, ciljeve i hipoteze;
- 2) Na osnovu pregleda literature sažeto prikazati rezultate prethodnih istraživanja u vezi problema koji je istraživan (voditi računa da obuhvata najnovija i najznačajnija saznanja iz te oblasti kod nas i u svijetu);
- 3) Navesti doprinos teze u rješavanju izučavanog predmeta istraživanja;
- 4) Navesti očekivane naučne i pragmatične doprinose disertacije.

## V MATERIJAL I METOD RADA

Istraživanje za potrebe ove doktorske disertacije kandidatkinja je provodila na edukacionom pilot biljnom uređaju koji je izgrađen neposredno u blizini Biotehničkog fakulteta. Edukacioni pilot biljni uređaj zauzima površinu od 20 m<sup>2</sup>, a dimenzioniran je za 8-10 ES (ekvivalent stanovnika). Primarno čišćenje otpadne vode se izvodi u taložniku. Pilot biljni uređaj se sastoji od prvog polja - za filtriranje (PF) i drugog polja - za čišćenje (PČ). U polja je ugrađen supstrat različitih frakcija, od 0.2 - 36 mm, u različitiom sastavu. U prvo polje je zasađen rogoz (*Typha latifolia*), a u drugo trska (*Phragmites australis*), s gustoćom najmanje 7 biljaka/m<sup>2</sup>. Nakon polja biljnog uređaja ugrađeno je dodatno istraživačko okno koje služi za uklanjanje drugih onečišćujućih materija iz vode. Recipijent prečišćenih otpadnih voda je potok Drobinica koji je od same lokacije udaljen oko 10 m.

Biljni uređaj je korišten za tretman komunalnih otpadnih voda, otpadne vode mljekare i sintetske otpadne vode, koja je pripremljena uz dodatak određene koncentracije teških metala. Uzorkovanje i analizu otpadnih voda kandidatkinja je vršila u skladu sa domaćom zakonskom regulativom iz ove oblasti: Zakon o vodama (Sl. novine Federacije BiH, br. 70/06), Uredba o opasnim i štetnim tvarima u vodama (Sl. novine FBiH, broj 43/07) i Uredba o uslovima ispuštanja otpadnih voda u okoliš i sisteme javne kanalizacije (Sl. Novine Federacije BiH, br.26/20). Pri tretmanu otpadnih voda primjenom ovog biljnog uređaja kandidatkinja je pratila efikasnost rada uređaja mjerenjem niza parametara: boja, miris, mutnoća, suspendovane materije, ukupno rastvorene materije, taložive materije, HPK-vrijednost, BPK<sub>5</sub>, N-NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>3</sub>, N-NO<sub>2</sub>,

ukupni azot, PO<sub>4</sub>-P, te teški metali (Fe, Pb, Cd, Zn, Cr i Co) i ukupne koliformne bakterije, a primjenom odgovarajućih metoda propisanih Standardnim metodama (APHA) i ISO Standardima.

Tokom predviđenog perioda istraživanja varirao je protok, kao i hidrauličko vrijeme zadržavanja vode u uređaju. Kod komunalne otpadne vode protok se određivao tokom pet radnih dana i varirao je u toku sedmice, ovisno o dnevnom opterećenju, dok se kod tehnološke i sintetske otpadne vode protok manuelno podešavao (veći i manji protok). Vrijeme zadržavanja vode u uređaju kod komunalne otpadne vode je bilo 5 dana, dok je kod otpadne vode mljekare vrijeme zadržavanja vode u uređaju bilo 4,5 i 6 dana, a kod sintetske otpadne vode 5,7 i 9 dana. S obzirom da je tehnološka otpadna voda bila više opterećenja sadržajem organskih materija, kao i jedinjenjima s azotom i fosforom, a sintetska otpadna voda sa većom koncentracijom teških metala, kod ove dvije vrste voda radilo se sa produženim vremenom zadržavanja vode u uređaju u odnosu na komunalnu otpadnu vodu, na način da su protok i puštanje efluenta iz biljnog uređaja, zavisno od HVZ, regulisani mehanički, a sa ciljem postizanja što boljih rezultata, koji bi bili u skladu sa zakonskom regulativom (Uredba, 2020).

Istraživanje za sve tri vrste voda kandidatkinja je provodila po sezonama, tj. u proljeće, ljeto i jesen i zimu, kako bi ispitala u koje godišnje doba je najveća efikasnost prečišćavanja zavisno od vrste otpadne vode. Vrijednosti klimatskih parametara (temperatura i količina padavina) koji su varirali i koji mogu uticati na efikasnost rada pilot biljnog uređaja, kandidatkinja je dobila iz Federalnog hidrometeorološkog zavoda. Analiza efikasnosti prečišćavanja sve tri vrste otpadnih voda primjenom horizontalnog pilot biljnog uređaja izvršena je pomoću neparametrijskog testa Kruskal Wallis na nivou značajnosti 0,05 zbog narušenosti pretpostavke o homogenosti varijansi i odstupanja reziduala od normalne raspodjele. Značajnost razlika između tretmana utvrđena je Mann-Whitney U testom, također na nivou značajnosti 0,05.

Primijenjene metode istraživanja u ovoj doktorskoj disertaciji su adekvatne, dovoljno precizne, tačne i savremene, ako se uzmu u obzir dostignuća u ovom polju istraživanja na globalnom nivou. Kandidatkinja je poštovala plan istraživanja koji je dat prilikom prijave doktorske disertacije. Ispitivani parametri daju dovoljno elemenata za pouzdano istraživanje, a statistička obrada podataka je adekvatna.

- 1) Objasniti materijal koji je obrađivan, kriterijume koji su uzeti u obzir za izbor materijala;
- 2) Dati kratak uvid u primijenjeni metod istraživanja pri čemu je važno ocijeniti sljedeće:
  1. Da li su primijenjene metode istraživanja adekvatne, dovoljno tačne i savremene, imajući u vidu dostignuća na tom polju u svjetskim nivoima;
  2. Da li je došlo do promjene u odnosu na plan istraživanja koji je dat prilikom prijave doktorske teze, ako jeste zašto;
  3. Da li ispitivani parametri daju dovoljno elemenata ili je trebalo ispitati još neke, za pouzdano istraživanje;
  4. Da li je statistička obrada podataka adekvatna.

## VI REZULTATI I NAUČNI DOPRINOS ISTRAŽIVANJA

Rezultati i diskusija u ovoj doktorskoj disertaciji (poglavlje 5) su prikazani kroz 5 potpoglavlja. U svakom od potpoglavlja grafički, tabelarno i putem slika prikazani su rezultati dobijeni u toku istraživanja, te diskutovani i poređeni sa rezultatima drugih autora.

### **Potpoglavlje 5.1 Analiza komunalne otpadne voda u nastavnom centru „Grmeč“ i efikasnost prečišćavanja primjenom pilot biljnog uređaja**

U istraživanju sa komunalnom otpadnom vodom pratilo se niz parametara kvaliteta vode (influenta i efluenta). Efikasnost biljnog uređaja praćena je i kroz mikrobiološku analizu. Hidrauličko vrijeme zadržavanja vode u uređaju tokom sva četiri godišnja doba

( proljeće, ljeto, jesen i zima) za komunalnu otpadnu vodu je bilo 5 dana i nije se mijenjalo, dok je protok varirao tokom cijelog perioda istraživanja, zavisno od dnevnog opterećenja, te se na taj način pratilo da li protok utiče na efikasnost prečišćavanja. Efikasnost uklanjanja amonijaka iz komunalne otpadne vode je bila najveća u ljeto- 86,58 % i u jesen - 89,28 %. Efikasnost uklanjanja amonijaka je bila najmanja u proljeće, na početku vegetacije, i iznosila je 70,82 %. U zimskom periodu efikasnost uklanjanja amonijaka je bila 72,96 %. Efikasnost uklanjanja amonijaka je varirala zavisno i od protoka, a u većini slučajeva efikasnost je bila veća pri manjem dotoku vode. Paralelno s tim i efikasnost uklanjanja ukupnog azota je bila najveća u ljeto, 86,60 % i u jesen, 89,71 %. Efikasnost uklanjanja ukupnog azota je bila najmanja na početku vegetacije, tj. u proljeće i iznosila je 69,85 %. Efikasnost uklanjanja fosfora je bila najveća u ljeto i to 74,29 %, a najmanja u zimu, 50,06 %. U doktorskoj disertaciji je praćena efikasnost uklanjanja jedinjenja s azotom i fosforom u uzorcima nakon što je otpadna voda prošla kroz oba polja, pri čemu rezultati istraživanja prikazani u radu pokazuju da korištene biljne vrste (*Typha latifolia* i *Phragmites australis*) postižu odlične rezultate u uklanjanju ovih jedinjenja, naročito jedinjenja s azotom. Rezultati dobijeni u ovoj doktorskoj disertaciji uspoređeni su i sa rezultatima drugih autora, koji su u svojim istraživanjima pratili efikasnost uklanjanja ovih jedinjenja primjenom višefaznih biljnih uređaja. Efikasnost uklanjanja organskih materija je varirala zavisno od protoka i godišnjeg doba, ali statističkom obradom podataka na osnovu rezultata Kruskal Wallis testa se konstatovalo da nisu utvrđene statistički značajne razlike ( $p > 0,05$ ) između efikasnosti prečišćavanja komunalne otpadne vode u zavisnosti od protoka. Kada su u pitanju godišnja doba, efikasnost prečišćavanja komunalne otpadne vode primjenom horizontalnog biljnog uređaja sa podpovršinskim tokom vode izražena kroz HPK je bila najmanja u zimskom periodu, 64,54%. Sa početkom vegetacije, tj. u proljeće, efikasnost uklanjanja organskih materija se povećala, i za HPK je iznosila 79,69%. Najveća efikasnost uklanjanja organskih materija izraženih kao HPK je bila u ljeto, 87,34%, a u jesen 85,91%. Kada je u pitanju godišnje doba kao faktor uticaja na efikasnost prečišćavanja komunalne otpadne vode primjenom pilot biljnog uređaja, može se konstatovati da je godišnje doba značajno ( $p \leq 0,05$ ) uticalo na efikasnost prečišćavanja.

### **Potpoglavlje 5.2 Analiza tehnološke otpadne vode (mljekara „Milk-San“ Sanski Most) i efikasnost prečišćavanja primjenom pilot biljnog uređaja**

U ovom potpoglavlju efikasnost prečišćavanja tehnološke otpadne vode se pratila mjerenjem istih parametara kao i kod komunalne otpadne vode (izuzev teških metala). Istraživanje se takođe provodilo kroz sva četiri godišnja doba. Efikasnost rada biljnog uređaja se pratila kroz produženo vrijeme zadržavanja vode u uređaju (4,5 i 6 dana), s ciljem dobijanja optimalnih vrijednosti parametara, a protok se podešavao manuelno. Efikasnost uklanjanja suspendovanih materija je varirala zavisno od dotoka vode na uređaj, ali i od godišnjeg doba. Najveća efikasnost uklanjanja suspendovanih materija je bila u ljetnem periodu i iznosila je 96,11 %. Najmanja efikasnost uklanjanja suspendovanih materija je bila u proljeće i zimu i to 94,86 %, odnosno 95,25 %. U jesen je ta efikasnost bila 95,45 %. Rezultati za efikasnost uklanjanja suspendovanih materija su dobijeni na osnovu vrijednosti suspendovanih materija u influentu i suspendovanih materija u efluentu i to za HVZ u uređaju od 6 dana. Efikasnost uklanjanja fosfora je bila najveća u proljeće i ljeto, 98,78% i 95,27%, dok je u jesen i zimu efikasnost bila 56,06%, odnosno 78,97%. U svim uzorcima efluenta u proljeće i ljeto koncentracija fosfora nije prelazila MDK propisanu Uredbom (MDK 2 mg/L). Efikasnost uklanjanja organskih materija je varirala zavisno od protoka i godišnjeg doba, ali se i u ovom slučaju, kao i kod komunalne otpadne vode, statističkom obradom podataka na osnovu rezultata

Kruskal Wallis konstatovalo da nisu utvrđene statistički značajne razlike ( $p > 0,05$ ) između efikasnosti prečišćavanja otpadne vode mljekare u zavisnosti od protoka. Kada su u pitanju godišnja doba, efikasnost prečišćavanja otpadne vode mljekare primjenom horizontalnog biljnog uređaja sa podpovršinskim tokom vode izražena kroz HPK je bila najmanja u zimu i proljeće, 85,08 % i 79,72 %. U ljeto je ta efikasnost bila najveća, 94,50 %, a u jesen 92,63 %. Efikasnost uklanjanja organskih materija izraženih kao BPK<sub>5</sub> je takođe bila najmanja u proljeće i zimu, 94,27 % i 94,58 %. Efikasnost rada biljnog uređaja i razgradnja organskih materija izraženih kao BPK<sub>5</sub> se povećala u ljeto, kada je iznosila 97,73 %. Rezultati pokazuju da je i efikasnost uklanjanja koliformnih bakterija iz otpadne vode mljekare izuzetno visoka, tokom sva četiri godišnja doba, pri čemu nema značajnih varijacija zavisno od dotoka vode na uređaj.

### **Potpoglavlje 5.3. Analiza sintetske otpadne vode i efikasnost prečišćavanja primjenom pilot biljnog uređaja**

U ovom potpoglavlju efikasnost prečišćavanja sintetske otpadne vode se pratila mjerenjem istih parametara kao i kod prethodnih vrsta otpadnih voda, s tim što je u ovom slučaju akcenat stavljen na koncentraciju teških metala. U ovom slučaju se radilo sa produženim vremenom zadržavanja vode u uređaju (HVZ 5, 7 i 9 dana) kako bi koncentracija teških metala u efluentu bila u skladu sa zakonskom regulativom. Kada su u pitanju godišnja doba, efikasnost prečišćavanja sintetske otpadne vode primjenom horizontalnog biljnog uređaja sa podpovršinskim tokom vode izražena kroz HPK je bila najmanja u zimu, 57,05 %, a zatim u jesen, 62,44%. U proljeće je ta efikasnost bila 71,11 %, a najveća je bila u ljetnom periodu, 78,27 %. Kada je u pitanju godišnje doba kao faktor uticaja na efikasnost prečišćavanja sintetske otpadne vode primjenom pilot biljnog uređaja, može se konstatovati da je godišnje doba značajno ( $p \leq 0,05$ ) uticalo na efikasnost prečišćavanja, za razliku od protoka ( $p > 0,05$ ). Tokom analize sintetske otpadne vode prije puštanja u biljni uređaj koncentracije teških metala (Pb, Cd, Co, Zn, Cr i Fe) su bile iznad MDK propisane Uredbom (Sl. Novine Federacije BiH, br.26/20). Koncentracija Cd, Co, Zn i Fe u efluentu nakon HVZ od 9 dana tokom sva četiri godišnja doba je bila u skladu sa zakonskom regulativom i ispod MDK propisane Uredbom za ove teške metale. Rezultati analiza su pokazali da je efikasnost uklanjanja ova četiri teška metala (Cd, Co, Zn i Fe) tokom sva četiri godišnja doba bila izuzetno visoka, odnosno  $> 99$  %. Za razliku od ova četiri teška metala, koncentracija Pb u efluentu je jedino u zimskom periodu bila iznad MDK, nezavisno do protoka, dok je koncentracija Cr u svim uzorcima efluenta tokom sva četiri godišnja doba bila iznad MDK propisane Uredbom. Efikasnost uklanjanja Pb je bila najveća u jesen, 95,23% i ljeto, 93,23%, dok je najmanja bila u zimskom periodu, 90,8%. Takođe, ta efikasnost je bila veća pri manjem protoku vode. Rezultati ovog istraživanja takođe pokazuju da uređaj nije efikasan u uklanjanju Cr iz otpadne vode, te se ne preporučuje za tretman voda za povećanom koncentracijom ovog teškog metala. Rezultati ovog istraživanja su pokazali da odabrane biljne vrste dobro usvajaju teške metale putem korijenovog sistema, pri čemu se postiže zadovoljavajuća efikasnost njihovog uklanjanja iz otpadne vode. Određena koncentracija teških metala se također zadržava i na supstratu. S obzirom da je koncentracija teških metala određena ne samo u otpadnoj vodi, nego i u biljkama zasadenim u biljnom uređaju, na osnovu dobijenih rezultata može se vidjeti da je najveća koncentracija svih teških metala (Pb, Co, Cr, Fe, Zn i Cd) detektovana u listovima rogoza, koji se nalazi u prvom polju biljnog uređaja, dok je u listovima trske koncentracija navedenih teških metala bila manja. U listovima biljaka najveće koncentracije su zabilježene za Fe i Pb.

#### **Potpoglavlje 5.4. Analiza ukupne efikasnosti prečišćavanja otpadnih voda (komunalna, tehnološka i sintetska) primjenom pilot biljnog uređaja**

U ovom poglavlju predstavljeni su statistički rezultati za efikasnost uklanjanja sadržaja organskih materija izraženih kao HPK za sve tri vrste otpadnih voda (komunalna, tehnološka i sintetska), primjenom pilot biljnog uređaja. S obzirom na provedena istraživanja može se vidjeti da je najveća efikasnost uklanjanja sadržaja organskih materija izraženih kao HPK primjenom pilot biljnog uređaja postignuta za tehnološku, odnosno otpadnu vodu mljekare (94,68%), nakon toga za komunalnu otpadnu vodu (79,11%) i na kraju za sintetsku otpadnu vodu (75,71%).

#### **Potpoglavlje 5.5. Meteorološki uslovi tokom istraživanja**

Za analizu vremenskih uslova tokom istraživanja korištene su prosječne vrijednosti srednjih mjesečnih temperatura vazduha i prosječne sume padavina za period istraživanja 2017 – 2020. godine. Variranja su bila izražena tokom svih godišnjih doba kroz sve četiri godine istraživanja. Kako bi se sagledali osnovni pokazatelji vremenskih uslova, korišteni su meteorološki podaci iz Meteorološke stanice Bihać.

Rezultati dobijeni u ovoj doktorskoj disertaciji su prikazani jasno, pravilno, logično i jasno tumačeni i poređeni sa rezultatima drugih autora.

Naučni doprinos ove disertacije ogleda se u određivanju i uspostavljanju optimalnih parametara procesa razgradnje razgradivih i teško razgradivih otpadnih voda i utvrđivanju efikasnosti njihovog prečišćavanja primjenom horizontalnog pilot biljnog uređaja u različitim uslovima rada. Ove analize i istraživanja će poslužiti kao osnova za izbor vrste i stepena opterećenja otpadnih voda koje se u budućnosti mogu prečišćavati na ovom pilot biljnom uređaju. Takođe, primjenom simulacijskih softvera i korištenjem rezultata dobijenih istraživanjem na ovom edukacionom pilot biljnom uređaju, moguće je dobiti podatke o optimalnim uslovima rada biljnog uređaja koji se mogu primijeniti u realnim uslovima na većim biljnim uređajima za tretman različitih vrsta otpadnih voda. Naučni doprinos ove disertacije se ogleda i u tome da rezultati ovih istraživanja predstavljaju značajan doprinos zaštiti i upravljanju životnom sredinom kao jednom od strateških pravaca istraživanja u BiH i primjeni biljnih uređaja kao ekološki prihvatljive tehnologije u Bosni i Hercegovini.

- 1) Ukratko navesti rezultate do kojih je kandidat došao;
- 2) Ocijeniti da li su dobijeni rezultati jasno prikazani, pravilno, logično i jasno tumačeni, upoređujući sa rezultatima drugih autora i da li je kandidat pri tome ispoljavao dovoljno kritičnosti;
- 3) Posebno je važno istaći do kojih novih saznanja se došlo u istraživanju, koji je njihov teorijski i praktični doprinos, kao i koji novi istraživački zadaci se na osnovu njih mogu utvrditi ili nazirati.

## **VII ZAKLJUČAK I PRIJEDLOG**

Doktorska disertacija kandidatkinje mr Toromanović Merime pod nazivom „**Optimizacija rada pilot biljnog uređaja kod obrade otpadnih voda različitog stepena biorazgradivosti**“ sadrži sve neophodne elemente koje zahtijeva jedan naučno – istraživački rad. Disertacija je urađena u skladu sa savremenim principima i metodologijom naučno – istraživačkog rada, te u skladu sa postavljenom hipotezom koju je kandidatkinja dala prilikom prijave disertacije. Svi elementi u disertaciji su izloženi na jasan i konkretan način, sa naučnim utemeljenjem. Na osnovu pregleda i analize dostavljene doktorske disertacije, Komisija smatra da disertacija mr Toromanović Merime predstavlja samostalan i originalan naučni rad. Komisija konstatuje da je kandidatkinja ovladala metodama naučnog rada, a provedena istraživanja u disertaciji daju doprinos nauci i primjenjiva su u praksi. Primjenom

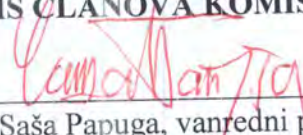
simulacijskih softvera i korištenjem rezultata dobijenih istraživanjem na ovom edukacionom pilot biljnom uređaju, moguće je dobiti podatke o optimalnim uslovima rada biljnog uređaja koji se mogu primijeniti u realnim uslovima na većim biljnim uređajima za tretman različitih vrsta otpadnih voda. Istraživanje provedeno u ovoj doktorskoj disertaciji je pokazalo da pravilno izgrađen biljni uređaj ima velik potencijal za sekundarni i tercijarni tretman različitih vrsta otpadnih voda, te se može koristiti i u manjim ruralnim područjima.

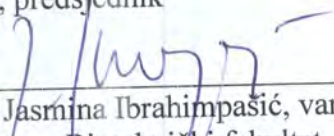
Na osnovu ukupne ocjene doktorske disertacije i izvega izloženog u ovom Izvještaju, Komisija jednoglasno daje pozitivnu ocjenu urađenoj doktorskoj disertaciji kandidatkinje mr Toromanović Merime pod nazivom „**Optimizacija rada pilot biljnog uređaja kod obrade otpadnih voda različitog stepena biorazgradivosti**“ i predlaže Naučno - nastavnom vijeću Tehnološkog fakulteta i Senatu Univerziteta u Banjoj Luci da se doktorska disertacija prihvati, a kandidatkinji odobri odbrana.

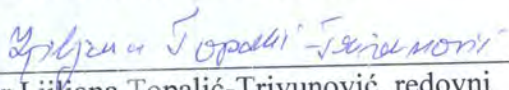
- 1) Navesti najznačajnije činjenice što tezi daje naučnu vrijednost, ako iste postoje dati pozitivnu vrijednost samoj tezi;
- 2) Na osnovu ukupne ocjene disertacije komisija predlaže:
  - da se doktorska disertacija prihvati, a kandidatu odobri odbrana,
  - da se doktorska disertacija vraća kandidatu na doradu (da se dopuni ili izmijeni) ili
  - da se doktorska disertacija odbija.

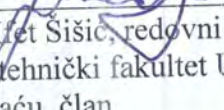
**Datum:** juli, 2021. godine

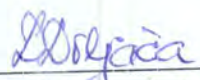
#### POTPIS ČLANOVA KOMISIJE

  
 1. Dr Saša Papuga, vanredni profesor,  
 Tehnološki fakultet Univerziteta u Banjoj  
 Luci, predsjednik

  
 2. Dr Jasmina Ibrahimpašić, vanredni  
 profesor, Biotehnički fakultet  
 Univerziteta u Bihācu, mentor

  
 3. Dr Ljiljana Topalić-Trivunović, redovni  
 profesor, Tehnološki fakultet  
 Univerziteta u Banjoj Luci, komentor

  
 4. Dr Ilić Šišić, redovni profesor,  
 Biotehnički fakultet Univerziteta u  
 Bihācu, član

  
 5. Dr Dijana Drljača, docent, Tehnološki  
 fakultet Univerziteta u Banjoj Luci, član

IZDVOJENO MIŠLJENJE: Član komisije koji ne želi da potpiše izvještaj jer se ne slaže sa mišljenjem većine članova komisije, dužan je da unese u izvještaj obrazloženje, odnosno razlog zbog kojih ne želi da potpiše izvještaj.