

**NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU
TEHNOLOŠKO-METALURŠKOG FAKULTETA
UNIVERZITETA U BEOGRADU**

Predmet: Podobnost teme i kandidata Milene Knežević dipl. inženjera tehnologije, za izradu doktorske disertacije

Odlukom Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu, br. 35/13 od 31.01.2013. godine, imenovani smo za članove Komisije za ocenu podobnosti teme i kandidata Milene Knežević dipl. inženjer tehnologije, za izradu doktorske disertacije i naučne zasnovanosti teme „UKLANJANJE AZOTNIH JEDINJENJA IZ OTPADNIH VODA U DISPERZNIM SISTEMIMA”.

Na osnovu materijala priloženog uz Zahtev kandidata, Komisija podnosi sledeći:

I Z V E Š T A J

1. Podaci o kandidatu

1.1. Biografski podaci

Milena Knežević, dipl. inž. tehnologije, rođena je 14.09.1985. godine u Beogradu. Osnovnu školu „Sava Kovačević (Jovan Miodragović)” i XIV beogradsku gimnaziju, prirodno-matematičkog smera, završila je u Beogradu. Osnovne studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu je započela 2004/2005 školske godine, a diplomirala je 2010. godine na Katedri za Inženjerstvo zaštite životne sredine, sa prosečnom ocenom 8,87. Diplomski rad pod nazivom „Tretman otpadnih voda grada Kladova” odbranila je sa ocenom 10. Od septembra 2010. godine, je upisana na doktorske studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu u Beogradu, na kojima je položila sve programom predviđene ispite, sa prosečnom ocenom 9,58.

1.2. Stečeno naučnoistraživačko iskustvo

U okviru doktorskih studija položila je sve ispite predviđene planom i programom, uključujući i završni ispit, postigavši sledeće ocene:

Predmet	ESPB	Ocena
Viši kurs pripreme vode za piće	4	10
Industrijske vode	4	10
Sanitarna mikrobiologija	4	10
Inženjerstvo čelije	5	10
Odabrani mikrobiološki procesi u zaštiti životne sredine	4	10
Prečišćavanje otpadnih voda	5	10
Princip bioprocesnog inženjerstva u prečišćavanju otpadnih voda	6	10
Hemijska kinetika	5	9
Matematička obrada eksperimentalnih podataka	5	9
Industrijska ekologija	5	9
Ekonomija životne sredine i održivi razvoj	4	8
Završni ispit	30	10

U okviru doktorskih studija kandidat je položio završni ispit sa ocenom 10, koji se bavio tematikom uklanjanja azotnih jedinjenja iz otpadnih voda.

Od školske 2011/2012, angažovana je u nastavi na Tehnološko-metalurškom fakultetu Univerziteta u Beogradu, u okviru računskih vežbi na predmetima Tehnologija pripreme vode i Tehnologija prečišćavanja otpadnih voda na osnovnim akademskim studijama na Katedri za inženjerstvo zaštite životne sredine.

Do sada je objavila četiri naučna rada kategorije M63. Od 2011. godine radi na projektu Ministarstva za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj, pod nazivom „Razvoj efikasnijih hemijsko-inženjerskih procesa zasnovan na istraživanjima fenomena prenosa i principima intezifikacije procesa“ (172022).

Spisak objavljenih naučnih radova

Saopštenje sa skupa nacionalnog značaja štampano u celini (M63)

Milena Knežević, Slavica Tomić i Dragan Povrenović, „Primena prirodnog klinoptiolita u cilju smanjenja sadržaja Mg u vodi za piće i mogućnost njegove dalje upotrebe kao nosača fosfat-akumulirajućih bakterija“, 11. Međunarodna konferencija „Vodovodni i kanalizacioni sistemi, 25-27 maj, Jahorina 2011., 170-175 ISBN 978-86-82931-41-6

Milena Knežević, Vladimir Pavićević, Dragan Povrenović, Uklanjanje azotnih jedinjenja iz industrijskih otpadnih voda, Kvalitet vode u sistemima vodovoda i vode u industriji, 2012., 125-132, ISBN 978-86-882931-54-6

Vladimir Pavićević, Sonja Milićević, **Milena Knežević**, Dragan Povrenović, Vrednovanje projekata prečišćavanja komunalnih i industrijskih otpadnih voda, Kvalitet vode u sistemima vodovoda i vode u industriji, 2012., 115-124, ISBN 978-86-882931-54-6

Dragan Povrenović, **Milena Knežević**, Vladimir Pavićević, Karakteristike i tretman idustrijskih otpadnih voda, Kvalitet vode u sistemima vodovoda i vode u industriji, 2012., 109-113, ISBN 978-86-882931-54-6

1.3. Ocena podobnosti kandidata za rad na predloženoj temi

Na osnovu dosadašnjeg rada i pokazanih rezultata tokom doktorskih studija kao i u okviru naučno-istraživačkog rada, Milena Knežević, dipl. inženjer tehnologije, pokazala je sklonost i izrazitu sposobnost za bavljenje naučno-istraživačkim radom, što ukazuje da je ispunila potrebne uslove za rad na predloženoj temi doktorske disertacije.

2. Predmet i cilj istraživanja

Ranijih godina se uklanjanje azotnih jedinjenja iz otpadnih voda vršilo samo u specijalnim slučajevima, gde je posebno uočen njihov veliki uticaj na kvalitet vode, dok se danas, sa podizanjem zahtevanog kvaliteta efluenta, njihovo uklanjanje uključuje u standardne postupke prečišćavanja otpadnih voda. Tehnološka rešenja koja se u tu svrhu primenjuju su relativno

nova pošto su intenzivna istraživanja i primena novih, inovativnih rešenja, počela da se realizuju tek u poslednjoj dekadi prošlog veka. Ovo se posebno odnosi na razvoj bioloških postupaka za uklanjanje azotnih jedinjenja, zasnovanih na sistemima sa imobilisanim mikroorganizmima na inertnim nosačima, koji, sa razvojem novih materijala i tehnika, omogućavaju njihovu primenu. Sam postupak biološkog uklanjanja azotnih jedinjenja iz vode je poznat, javlja se u prirodi, a u postupku pripreme vode za piće, ukoliko se azotna jedinjenja nalaze u vodi, proces se sam od sebe odvija na peščanim filterskim ispunama. Međutim, u slučaju otpadnih voda, koncentracije azotnih jedinjenja mogu biti daleko veće, pa je samim tim potrebno imati i dovoljno efikasne sisteme za njihovo uklanjanje. Upravo istraživanje i razvijanje efikasnih postupaka za uklanjanje azotnih jedinjenja iz otpadnih voda i jeste cilj mnogih istraživanja koja su vršena u ovoj oblasti. Istovremeno ranovrsnost kvaliteta otpadnih voda onemogućava da se uspostavi jedan univerzalni postupak, tako da se pruža mogućnost za ispitivanje različitih sistema koji do sada nisu istraživani. Ovo se posebno odnosi na korišćenje disperznih sistema sa pokretnim slojem i njihove primene u biološkom tretmanu otpadnih voda, koji predstavljaju predmet ovog rada, a što je i na osnovu dostupne literature i uvida u primenjena tehnološka rešenja, relativno mlada naučna disciplina i u teorijskom i u praktičnom smislu.

Biološko uklanjanje azotnih jedinjenja se zasniva procesu oksidacije, u otpadnim vodama najčešće prisutnog amonijum jona, preko nitrita do nitrata uz pomoć autotrofnih bakterija, poznatom kao proces nitrifikacije, a potom, u drugim uslovima, redukcijom nitrata do gasovitog azota, u procesu denitrifikacije. Uspostavljanje uslova za rast i metaboličku aktivnost autotrofnih bakterija na inertnim nosačima u pokretnom sloju čestica predstavlja osnovni predmet ovog rada. Cilj koji želi da se postigne je da se, na osnovu istraživanja, razvije sistem za prečišćavanje otpadnih voda u fontansko-fluidizovanom sloju sa centralnom cevi.

Rast mikroorganizama imobilisanih na nosačima, koji su odgovorni za konverziju organske materije i nutrijenata u otpadnim vodama se odvija na površini inertnih nosača, u vidu biofilmova. Kinetika uklanjanja zagađujućih materija iz otpadne vode zavisi od vremena zadržavanja i fenomena prenosa na granicama faza vazduh-voda-biofilm. Primenom disperznih sistema obezbeđuju se uslovi za međufazni kontakt i intenziviranje svih procesa u sistemu, zahvaljujući velikoj specifičnoj površini, pa je procese moguće obaviti u manjim zapreminama uređaja.

Disperzni sistemi predstavljaju široki kompleks različitih tipova reaktora i načina dovodenja u kontakt čestica i fluida, bilo gasovitih ili tečnih. Oni mogu biti nasuti, fluidizovani, fontanski ili fontansko-fluidizovani slojevi, različitih geometrija, koji imaju različite fluido-mehaničke karakteristike, koje direktno utiču na njihovu primenu u procesima sa mikrobiološkim rastom. Obimna istraživanja su rađena na uspostavljanju efikasnih i fluido-mehanički stabilnih disperznih sistema, pri čemu su se na Tehnološko-metalurškom fakultetu u Beogradu, posebno istraživali fluidizovani, fontanski i fontansko-fluidizovani sistemi.

Na osnovu dosadašnjih istraživanja u ovoj oblast, predmet ove doktorske disertacije biće reaktor sa fontansko-fluidizovanim slojem i centralnom cevi, sa imobilisanim mikroorganizmima na

pogodnim nosačima za uklanjanje azotnih jedinjenja iz otpadnih voda procesima nitrifikacije i denitrifikacije.

Pregledom dostupne literature, utvrđeno je da se u novije vreme vrše intenzivna istraživanja na što efikasnijem korišćenju disperznih sistema, pre svega u procesima uklanjanja azotnih jedinjenja iz otpadnih voda, procesima nitrifikacije i denitrifikacije. Istovremeno, utvrđeno je da sistemi zasnovani na karakteristikama fontansko-fluidizovanih slojeva nisu ispitivana i nema podataka o njihovoj primeni. U analiziranim radovima, koji se bave sličnom tematikom, većina je bila vezana za laboratorijska istraživanja, čiji rezultati ispitivanja još uvek nisu našla primenu za realne sisteme. Dobijeni rezultati ukazuju na veoma efikasno uklanjanje azota iz vode, stim što su prisutna sva ograničenja pri prevazilaženju problema prelaska sa laboratorijskih na industrijske razmere uređaja, što bi trebalo da bude predmet daljih istraživanja.

Eksperimentalna istraživanja su obavljana u različitim sistemima, od klasičnih sa dispergovanom biomasom [1], preko jednostepenog šaržnog bioreaktora sa autotrofnom biomasom za nitrifikaciju amonijaka [2], pa do reaktora sa pakovanim slojem u kojima je menjan salinitet vode, koncentracije amonijaka i koncentracije nitrita [3]. Ispitivan je i uticaj pH vrednosti na odvijanje procesa nitrifikacije [4], kao i određivanje kinetičkih parametara mikrobiološkog rasta u procesu sa kombinovanim uklanjanjem ugljenika i azota u aerisanom četvorostepenom reaktoru sa nepokretnim slojem [5]. Takođe, usled korišćenja lakih plastičnih ispuna kao inertnih nosača, ispitivana je primena inverznog reaktora za proces nitrifikacije sintetičke otpadne vode sa visokim opterećenjem od 200 do 2000 $mg\ N - NH_4/L$ [6]. Uklanjanje amonijum jona je proučavano u različitim sistemima pomoću slobodnih i imobilisanih bakterija [7], kao i upotreba reaktora sa pokretnim slojem za uklanjanje amonijaka iz sintetičke i industrijske otpadne vode pri visokim temperaturama (35-45°C) i različitim fenotipovima amonijak i nitrit oksidujućih bakterija [8]. Testirano je i analizirano uklanjanje azota uključujući oba procesa, nitrifikaciju i denitrifikaciju u sistemu sa mešanom kulturom imobilisanih ćelija [9], a kao najbliži sistemi predviđenim istraživanjima u ovoj disertaciji, rađeni su eksperimenti u sistemu sa dva redno povezana cirkulaciona reaktora sa pokretnim slojem čestica [10], kao i u klasičnom fluidizovanom sloju [11] i kombinacijama različitih sistema i ispitivanih parametara u reaktorima sa imobilisanim mikroorganizmima na inertnim nosačima [12]-[15].

Iz svega navedenog jasno je da predviđena istraživanja u okviru ove doktorske disertacije imaju veoma aktuelnu problematiku i da mogu pružiti osnov za naučni ali praktični doprinos razvoju sistema za tretman otpadne vode u našoj zemlji.

Literatura:

[1] J. L. Campos, J. M. Garrido-Fernandez, R. Mendez, J. M. Lema, Nitrification at high ammonia loading rates in an activated sludge unit, *Bioresource Technology* 68 (1999) 141-148

- [2] A. Olav Sliekers, N. Derwort, J. L. Campos Gomez, M. Strous, J. G. Kuenen, M. S. M. Jetten, Completely autotrophic nitrogen removal over nitrite in one single reactor, *Water Research* 36 (2002) 2475-2482
- [3] U. Sudarno, J. Winter, C. Gallert, Effect of varying salinity, temperature, ammonia, nitrous acid concentrations on nitrification of saline wastewater in fixed-bed reactors, *Bioresource Technology* 102 (2011) 5665-5673
- [4] S. Villaverde, P. A. Garcia-Encina, F. Fdz-Polanco, Influence of pH over nitrifying biofilm activity in submerged biofilters, *Water Research* S0043-1354(96)00376-4
- [5] M. F. Hamoda, M. O. Zeidan, A. A. Al-Haddad, Biological nitrification kinetics in a fixed-film reactor, *Bioresource Technology* 58 (1996) 41-48
- [6] D. Bougard, N. Bernet, D. Cheneby, J. P. Delgenes, Nitrification of a high-strength wastewater in an inverse turbulent bed reactor: Effect of temperature on nitrite accumulation, *Process Biochemistry* 41 (2006) 106–113
- [7] Uwe J. Strotmann, Gunther Windecker, Kinetics of ammonium removal with suspended and immobilized nitrifying bacteria in different reactor systems, *Chemosphere* S0045-6535(97)00341-X
- [8] Shore, J.L., M'Coy, W.S., Gunsch, C.K., Deshusses, M.A., Application of a moving bed biofilm reactor for tertiary ammonia treatment in high temperature industrial wastewater, *Bioresource Technology* S0960-8524(12)00296-9
- [9] B. Tartakovsky, E. Kotlar, M. Sheintuch, Coupled nitrification-denitrification processes in a mixed culture of coimmobilized cells: analysis and experiment, *Chemical Engineering Science*, S0009-2509(96)00089-9
- [10] Mehran Andalib, George Nakhla, Dipankar Sen, Jesse Zhu, Evaluation of biological nutrient removal from wastewater by Twin Circulating Fluidized Bed Bioreactor (TCFBBR) using a predictive fluidization model and AQUIFAS APP, *Bioresource Technology* 102 (2011) 2400–2410
- [11] Lars J. Hem, Bjorn Rusten, Hallvard Odegaard, Nitrification in a moving bed biofilm reactor, *Water Research* 1425-1433(1994)
- [12] Yamei Dong, Zhenjia Zhang, Yongwei Jin, Zhirong Li, Jian Lu, Nitrification performance of nitrifying bacteria immobilized in waterborne polyurethane at low ammonia nitrogen concentrations, *Journal of Environmental Sciences* 2011, 23(3) 366–371
- [13] Regina Nogueira, Luis F. Melo, Ulrike Purkhold, Stefan Wuertz, Michael Wagner, Nitrifying and heterotrophic population dynamics in biofilm reactors: effects of hydraulic retention time and the presence of organic carbon, *Water Research* 36 (2002) 469–481

[14] Sukru Aslan, Mohamed Dahab, Nitritation and denitritation of ammonium-rich wastewater using fluidized-bed biofilm reactors, Journal of Hazardous Materials 156 (2008) 56–63

[15] Bing Wang, Wei Wang, Hongjun Han, Hangbo Hu, Haifeng Zhuang, Nitrogen removal and simultaneous nitrification and denitrification in a fluidized bed step-feed process, Journal of Environmental Sciences 2012, 24(2) 303–308

3. Polazne hipoteze

Na osnovu dosadašnjih saznanja, postavljeni su ciljevi ovog rada polazeći od sledećih pretpostavki:

- Fluidno-mehaničke karakteristike fontanskog i fontansko-fluidizovanog sloja mogu obezbediti intenzivan međufazni kontakt u trofaznom sistemu. Osnovna karakteristika fontanskih slojeva je u suprotnostrujnom kretanju čestica koje obrazuju sloj u anulusu i fluida kojim se obrazuje sloj. Neprekidna cirkulacija čestica u sloju obezbeđuje intenzivno mešanje čestica u sloju, čime se izbegava pojava mrtvih zona u reaktoru i podjednaki kontakt svih čestica i fluida.
- Geometrijske karakteristike sistema mogu obezbediti stabilan rad i dovoljan kapacitet uređaja koji bi radio u realnim uslovima prečišćavanja otpadnih voda od azotnih jedinjenja.
- Karakteristike punjenja utiču na fluidno-mehaničke karakteristike sistema i kroz istraživanja je moguće odrediti stepen primenljivosti pojedinih vrsta punjenja poput prirodnih materijala - peska, kamena, različitih minerala kao i sintetičkih materijala - aktivni ugljevi, polimeri.
- Stabilnost rada sistema sa fontanskim i fontansko-fluidizovanim slojem je u direktnoj vezi sa odnosom ulaznih protoka koji obrazuju sloj. Određena ograničenja koja postoje u primeni fontanskog sloja se mogu prevazići primenom fontansko-fluidizovanih slojeva i fontansko-fluidizovanih sistema sa centralnom cevi, posebno intenzitet cirkulacije i fenomena prenosa mase u sloju.
- Optimalni prenos mase kiseonika u trofaznim sistemima čestice-voda-vazduh moguće je ostvariti kombinovanjem vremena boravka, protoka i izborom materijala inertnog punjenja u sistemu. Način uvođenja vazduha u sistem direktno utiče na zapreminski koeficijent prenosa mase kiseonika u pokretnom sloju. Kroz ispitivanja prenosa mase kiseonika u nasutom, fluidizovanom i fontansko-fluidizovanom sloju može se odrediti efikasnost prenosa mase i njegova zavisnost od fluidno-mehaničkih parametara. Način uvođenja vazduha u anulusu sloja trofaznog sistema utiče na brzinu prenosa kiseonika potrebnog za rast aerobnih mikroorganizama u procesima nitrifikacije.

- Podešavanjem optimalnih fluidno-mehaničkih karakteristika disperznih sistema mogu se obezbediti uslovi za zadržavanje biofilma na česticama inertnog punjenja i tokom njihove cirkulacije. Regulacija stepena otiranja biofilma i obnavljanja površine direktno utiče na stepen uklanjanja azota iz otpadnih voda, odnosno utiče na starost ćelija u sistemu. Različiti inertni nosači će imati različiti nivo otiranja biofilma i kroz eksperimentalna istraživanja je moguće odrediti njihov međusobni uticaj.
- Kinetika trošenja rastvorenog kiseonika direktno utiču na kinetičke parametre mikrobiološkog rasta u disperznom sistemu sa biofilmom i u zavisnosti od uticaja fluidomehaničkih parametara, izbora punjenja, moguće je odrediti maksimalne brzine trošenja substrata i mikrobiološkog rasta u ispitivanom sistemu. Svaki mikrobiološki proces se odvija određenom kinetikom, koja je određena vrednostima četiri kinetička parametra: maksimalna specifična brzina mikrobiološkog rasta, μ_m , konstanta zasićenja supstratom, K_s , prinos biomase po utrošenom supstratu, Y i brzina odumiranja mikroorganizama, μ_d . Vrednosti kinetičkih parametara direktno utiču na brzinu korišćenja supstrata i rasta biomase i u funkciji su od karakteristika otpadne vode i vrste mikrobiološke populacije, u zavisnosti od željenog procesa.
- Na čitav proces i njegovu kinetiku direktno utiču i temperatura, pH, koncentracija različitih (inhibitornih) elemenata koji su prisutni u sistemu. Proces nitrifikacije i denitrifikacije se odigravaju pod različitim uslovima i uz pomoć različitih mikroorganizmima, pa efikasnost oba procesa pri istim uslovima neće biti jednaka, što se može kompenzovati različitim geometrijskim i fluidomehaničkim odnosima u ispitivanom sistemu.
- Rezultati istraživanja omogućiće dobijanje parametara za projektovanje realnih sistema za prečišćavanje otpadnih voda od jedinjenja azota.

Polazeći od iznetih pretpostavki, istraživanja imaju za cilj ispitivanje mogućnosti odvijanja procesa nitrifikacije i denitrifikacije u fontansko-fluidizovanom sistemu sa centralnom cev, koji je podeljen u dve zone, gornju nitrifikacionu i donju denitrifikacionu, uz obezbeđenje recirkulacionih tokova za cirkulaciju čestica i dovođenja vode nakon nitrifikacije u denitrifikacionu zonu.

Rezultati će doprineti proširivanju inženjerskih znanja vezanih za mikrobiološko uklanjanje azota i potpunijem razumevanju fenomena koji utiču na odvijanje ovih procesa u fontansko-fluidizovanom sloju sa centralnom cev.

4. Naučne metode istraživanja

Da bi se realizovali postavljeni ciljevi ove disertacije izvršiće se sledeća eksperimentalna ispitivanja:

- Određivanje uticaja geometrije dvostepene kolone na fluidomehaniku sistema, sa različitim odnosom prečnika svakog segmenta kolone i prečnika centralne cevi za transport inertnog punjenja,
- Definisane uticaja karakteristika punjenja pri određenim geometrijskim odnosima sistema na stabilnost rada i fluks čestica u sistemu,
- Određivanje najpovoljnijeg načina uvođenja vazduha u aerobnu zonu reaktora,

- Određivanje vrednosti zapreminskog koeficijenta prenosa mase kiseonika u trofaznom fontansko-fluidizovanom sloju
- Određivanje stepena otiranja čestica inertnog punjenja u dvo- i trofaznom fontansko-fluidizovanom sloju sa centralnom cevi.
- Određivanje optimalnih uslova za rast autotrofnih i heterotrofnih denitrifikujućih bakterija u sistemu sa sintetičkom otpadnom vodom.
- Određivanje uticaja koncentracije rastvorenog kiseonika na kinetiku procesa.
- Određivanje strukture i koncentracije imobilisanih mikroorganizama na inertnim nosačima ("FISH metoda").
- Određivanje uticaja različite koncentracije organske materije i amonijaka na proces nitrifikacije i denitrifikacije.
- Određivanje brzine nitrifikacije u funkciji od fluidomehaničkih parametara.
- Određivanje brzine denitrifikacije u funkciji od fluidomehaničkih parametara.
- Određivanje uticaja radnih parametara okoline (temperature, pH, napojnih tokova) na kinetiku celokupnog procesa uklanjanja jedinjenja azota iz otpadne vode.

Svi eksperimenti biće izvedeni na laboratorijskoj aparaturi koja omogućava promenu geometrijskih i fluido-mehaničkih parametara. Eksperimenti će se obaviti u laboratorijama Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu.

Eksperimenti će biti izvedeni u bioreaktorima prečnika od 50 do 500 mm i visine do 3 m. Bioreaktor će biti podeljen na dve zone aerobnu gde će se vršiti proces nitrifikacije i anoksi gde će se vršiti proces denitrifikacije. Mikroorganizmi, heterotrofi i autotrofi, biće imobilisani na nosačima koji će pomoću centralne cevi u reaktoru cirkulisati između zona. U eksperimentu biće korišćeni različiti tipovi nosača mikroorganizama poput kvarca, zeolita, PP, PET, plastični nosači, GAK i drugi. Prečnici nosača će se kretati od 0.5 do 10 mm. Brzine cirkulacije nosača kroz sistem biće merene na zidu reaktora.

Eksperimenti će se obavljati na Tehnološko-metalurškom fakultetu Univerziteta u Beogradu.

5. Očekivani naučni doprinos

Problemi stabilnosti rada, sa aspekta promene fluido-mehaničkih parametara predstavljaju osnov ispitivanja i odgovori na pitanja ponašanja dvosegmentnog fontansko-fluidizovanog sloja, koji će biti predmet ovog rada, nisu analizirani u dostupnoj literaturi. Iskustva koja su stečena radom na dvofaznim kolonama (vazduh-čestice) prečnika 0,95m, predstavljaju osnov za analizu ponašanja trofaznog sistema voda-vazduh-čestice i njegove statičke stabilnosti.

Ponašanje sistema pri obrazovanju trofaznog fontansko-fluidizovanog sloja sa dovodenjem vazduha u anulusu sloja nije do sada analizirano u dostupnoj literaturi, tako da će podaci dobijeni u ovom radu biti iskorišćeni za postavljanje novog modela, koji će opisati ovakav sistem.

Fluidomehanička istraživanja će omogućiti definisanje graničnih vrednosti odnosa prečnika kolone u dvofaznom i trofaznom segmentu u odnosu na cirkulaciju čestica u sistemu i srednje vreme zadržavanja ćelija.

Segment kolone u kome će se odvijati proces nitrifikacije, predstavlja inovativno rešenje i do sada nema podataka o fluidomehaničkom ponašanju takvih sistema, koji se odnose na protoke vode i vazduha i cirkulacije čestica i padove pritisaka i njihove veze sa geometrijom samog sistema.

Prenos mase kisonika u trofaznom sistemu sa pokretnim česticama i uticaj parametara sistema na brzinu prenosa pruža osnov za analizu razvoja mogućih bioloških procesa sa različitom primenom u tehnologiji pripreme vode i prečišćavanja otpadnih voda.

Rast biomase na inertnim česticama pri njihovom kretanju u fontanskom sloju nije do sada dovoljno razmatran u literaturi, tako da će ispitivanja kinetike i uticaja parametara sistema sa fontanskim slojem na kinetičke parametre sistema predstavljati originalne naučne rezultate.

Ispitivanje kinetike procesa nitrifikacije u fontansko-fluidizovanom sloju sa aerisanim anulusom je novo rešenje i dobijeni rezultati mogu poslužiti za razvoj originalnog tehničkog rešenja u ovoj oblasti.

Postavljanjem granica odnosa koncentracija ulaznog zagađenja i protoka u odnosu na brzinu nitrifikacije i denitrifikacije u sistemu će omogućiti da se odrede ukupni kapaciteti i jedinični kapaciteti procesa prečišćavanja otpadnih voda u fontansko-fluidizovanom sistemu sa centralnom cevi, kao jednom od mogućih disperznih sistema.

Pored naučnog doprinosa, istraživanja u okviru ove teze mogu imati i praktični doprinos u razvoju novog tipa reaktora za uklanjanje amonijaka iz vode za piće, kao i razvoj novog uređaja za tretman industrijskih otpadnih voda sa povećanom koncentracijom nutrijenata.

6. Plan istraživanja i struktura rada

Reaktor je dvosegmentni, sa promenljivim prečnikom svakog od pojedinačnih segmenata i sa centralnom cevi koja prolazi kroz čitav reaktor od dna do vrha sloja.

Istraživanja će biti podeljena u tri dela.

U prvom delu će se ispitivati fluido-mehanički parametri sistema, protoci, padovi pritisaka, cirkulacija čestica, stabilnost rada sistema u funkciji od korišćene geometrije sistema, pri čemu će se koristiti različita inertna punjenja, poput kvarcnog peska, zeolita, granulisanog aktivnog uglja, plastičnih ispuna, različitog oblika i ekvivalentnog prečnika. Eksperimenti će se obavljati prvo u dvofaznom, voda-čestice, a potom i u trofaznom, voda-vazduh-čestice sistemu.

U drugom delu eksperimentalnih istraživanja će se ispitivati fenomeni prenosa mase kiseonika u trofaznom sistemu bez rasta biomase i uticaj fluido-mehaničkih parametara na brzinu prenosa.

Treći deo istraživanja će se obaviti u sistemu sa razvijenom biomasom na inernim nosačima i istraživaće se uticaji parametara sistema na kinetiku rasta biomase u pokretnom sloju. U okviru ovog segmenta istraživanja posebno će se raditi proces nitrifikacije i denitrifikacije sintetičkih otpadnih voda u sistemu

Predviđa se da će u doktorskoj disertaciji biti obrađena sledeća poglavlja: *Uvod*, *Teorijski deo*, *Eksperimentalni deo*, *Rezultati i diskusija*, *Zaključak* i *Literatura*.

U poglavlju *Uvod* biće prikazan kratak osvrt na područje ispitivanja, važnost jednog ovakog istraživanja za širu primenu u tretmanu otpadnih voda.

Poglavljje *Teorijski deo* razmotriće dostupne literaturne podatke relevantnih istraživanja koji se odnose na stabilnost rada disperznih sistema, sa aspekta njihovih fluido-mehaničkih karakteristika, uticaja geometrije sistema, čestica koje obrazuju disperzni sistem i protoka fluida. Analiziraće se se dvofazni sistemi vazduh-čvrsto, voda-čvrsto kao i trofazni sistem voda-vazduh-čvrsto. Posebno će biti analiziran prenos mase kiseonika u trofaznim sistemima i dosadašnji rezultati prenosa mase kiseonika kroz biofilm na inernim nosačima, kao i procesa nitrifikacije i denitrifikacije.

U poglavlju *Eksperimentalni deo* očekuje se da budu predstavljene metode korišćene u eksperimentalnom radu, prema redosledu eksperimentalnog istraživačkog rada:

- Materijal i metode rada;
- Opis eksperimentalne aparature;
- Prenos mase kiseonika u otpadnu vodu;
- Kinetika mikrobnog rasta;
- Primenjene matematičke i statističke metode;

U poglavlju *Rezultati i diskusija* biće prikazani i diskutovani rezultati. Predstaviće se rezultati koji se odnose na ispitivanje fluido-mehaničkih karakteristika, fenomena prenosa mase kiseonika između faza i brzina potrošnje kiseonika u sistemu, kinetika rasta mikroorganizama u pokretnim slojevima i uticaj parametara sistema na proces nitrifikacije i denitrifikacije u fontansko-fluidizovanom sistemu sa centralnom cevi.

U *Zaključku* će biti sumirani dobijeni rezultati i relevantni zaključci, izvedeni na osnovu izvršenih ispitivanja.

U odeljku *Literatura* biće navedene reference citirane u disertaciji, uključujući naučne publikacije proistekle iz eksperimentalnog rada u okviru predložene teme.

7. Zaključak i predlog

Na osnovu iznetih podataka Komisija smatra da je tema predložene doktorske disertacije Milene Knežević **“Uklanjanje azotnih jedinjenja iz otpadnih voda u disperznim sistemima”** naučno zasnovana i predlaže Nastavno-naučnom veću da je prihvati. Za mentora se predlaže dr Dragan Povrenović, docent Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu. Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije pripadaju naučnoj oblasti Inženejerstvo zaštite životne sredine za koju je Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu matična ustanova.

U Beogradu, 18.02. 2013.

ČLANOVI KOMISIJE

Dr Dragan Povrenović, docent
Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu

Dr Nevenka Rajić, red. prof.
Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu

Dr Željko Grbavčić, red. prof.
Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu

Dr Vlada Veljković, red. prof.
Tehnološki fakultet Leskovac, Univerzitet u Nišu