

UPOREDNI PREGLED KARAKTERISTIKA ROTACIONIH BIODISKOVA I SEKVENCIJALNIH FAZNIH REAKTORA ZA TRETMAN KOMUNALNIH OTPADNIH VODA

Dragan CVETKOVIĆ dipl.maš.inž. *, prof. dr Vanja ŠUŠTERŠIĆ

Mašinski fakultet u Kragujevcu

*e-mail: dragan_cw8202@yahoo.com

REZIME

Za održivo prečišćavanje otpadnih voda, u zemljama u razvoju, treba podsticati primenu što jednostavnijih i jeftinijih sistema, a da pritom efikasnost ne bude dovedena u pitanje. Ovaj rad urađen je sa ciljem da uporedi učinak dve vrste dostupnih tehnologija za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda u Srbiji. U radu je izvršeno upoređivanje najčešće primenjenih tehnologija u zemljama u razvoju, rotacioni biološki diskovi (RBC) i sekvencijalni fazni reaktori (SBR), tehnologija koja je još uvek u povoju i čija primena u svetu, u poslednjih nekoliko godina, naglo raste.

Ključne reči: sekvencijalni fazni reaktori (SBR), rotacioni biološki diskovi (RBC), aerobni tretman, anaerobni tretman, aerobno-anaerobni tretman.

1. UVOD

Tretman komunalnih otpadnih voda u urbanim sredinama, zasniva se na njihovom prikupljanju u jednom centralizovanom postrojenju za prečišćavanje otpadnih voda, pre njihovog daljeg ispuštanja u recipijent.

Većina seoskih i prigradskih naselja do sada su tretman otpadnih voda zasnivala na izlivanju u septičke jame, međutim, zbog sve strožih propisa, sada se od takvih naselja očekuje kvalitetniji tretman otpadnih voda [1]. Ovaj rad, iz tog razloga, proučava sisteme za prečišćavanje otpadnih voda malih i srednjih kapaciteta.

U poređenju sa sistemima velikih kapaciteta ovde se javlja problem dnevne varijacije hidrauličkog opterećenja i koncentracije zagađujućih materija.

Efikasnost samog sistema u ovakvim slučajevima zavisi od primenjene tehnologije, odnosno od primenjenog sistema prečišćavanja.

Svako praktično rešenje problema tretmana otpadnih voda zahteva da se, najpre, ustanovi sastav otpadnih voda koje se tretiraju, odnosno vrsta i količina zagađujućih materija. Osnovni parametri otpadnih voda su biološka potrošnja kiseonika BPK_5 , hemijska potrošnja kiseonika HPK, jedinjenje amonijaka i azota NH_4-N , oksidi azota NO_2 i NO_3 , ukupni fosfor P, ukupne suspendovane materije SS, taložive materije TSS, ukupan organski ugljenik, temperatura, pH vrednost. U praksi, otpadne vode iz industrijskih pogona dovode se na uređaje za prečišćavanje istim kanalizacionim sistemom kao i sanitarne otpadne vode. Tada se opterećenje izražava u broju „ekvivalent stanovnika“ (ES), izračunatim prema pokazatelju BPK_5 . U Srbiji je usvojena vrednost od 60 $gBPK_5$ po stanovniku na dan. Međutim, kako u industrijskim otpadnim vodama vrlo često ima materija koje ometaju biohemijske procese, bolje je da se opterećenje otpadnih voda izražava preko pokazatelja „hemijske potrošnje kiseonika“.

2. VRSTE TRETMANA U PROCESIMA PREČIŠĆAVANJA OTPADNIH VODA

Aerobni tretman

Konvencionalne aerobne tehnologije, zasnovane na procesima sa aktivnim muljem, dominantno se primenjuju za tretman kućnih otpadnih voda zbog visoke efikasnosti, mogućnosti uklanjanja hranljivih materija i visoke operativne fleksibilnosti [2]. Ipak, visoke cene i operativni troškovi, koji se poklapaju sa uvođenjem ovih tehnologija, nameću značajna

finansijska ograničenja na proširenju pokrivenosti ovim sistemima, posebno u zemljama u razvoju. Dakle, da bi se povećala primena postrojenja za tretman komunalnih otpadnih voda, moraju se usvojiti rešenja koja su pouzdanija, jednostavnija za upotrebu i nižih eksploatacionih troškova.

Uopšteno govoreći, aerobni sistemi su pogodni za lečenje nisko opterećenih otpadnih voda (koncentracija HPK je manja od 1000 mg/l), dok su anaerobni sistemi pogodni za tretman visoko opterećenih otpadnih voda (koncentracija HPK ide preko 4000 mg/l). Prema F.Y. Cakir-u postoji granična vrednost u rasponu između 300 i 700 mg/l BPK₅ konačnog influenta otpadnih voda, koja je ključna za efikasno funkcionisanje sistema prečišćavanja [3].

Takođe, u odnosu na anaerobne sisteme, aerobni sistemi postižu veće uklanjanje rastvorljivih biorazgradivih organskih materija, a proizvedena biomasa je dobro flokulisana, što rezultira nižom izlaznom koncentracijom suspendovanih materija [4]. Kao rezultat toga, kvalitet efluenta je, generalno, veći kod aerobnih sistema.

Anaerobni tretman

Anaerobni predtretman kućnih otpadnih voda može da posluži kao održivo i isplativo rešenje, zbog svoje relativno niske cene konstrukcije i troškova rada, operativne jednostavnosti, niske proizvodnje viška mulja, proizvodnje energije u obliku biogasa i primenljivosti i za mala i za srednja opterećenja [5]. Osim toga, zahvaljujući kompaktnosti, predtretman se može nalaziti u blizini, pa čak i unutar oblasti prikupljanja otpadnih voda. Pošto je anaerobni tretman, zapravo, metod predtretmana, potreban je odgovarajući posttretman kako bi se postigli lokalni standardi za ispuštanje u vodotokove ili pak za primenu u poljoprivredne svrhe [6-8].

U anaerobnim sistemima, čvrste materije zarobljene su u organskim materijama i pretvaraju se u biogas, koji se uglavnom sastoji od metana i ugljen-dioksida. Organski vezan azot pretvara se u amonijak i sulfat i svodi se na ugljenik-sulfid. Proizvodnja mulja u anaerobnim sistemima je niska i višak mulja je već znatno stabilizovan i može se dalje izliti tj. odložiti na sušenje. Što se tiče mikrobioloških pokazatelja, u anaerobnim sistemima niska je efikasnost uklanjanja koliformi [9,10]. U anaerobnom influentu, preostale koncentracije suspendovanih čestica i organskih

materija, obrađene su u aerobnim sistemima zajedno sa oksidacijom amonijaka i nitrifikacijom do nitrata/nitrita. Visoko zagađene otpadne vode tretiraju se, po mogućstvu, u anaerobnim reaktorima zbog visokog nivoa HPK, potencijala za proizvodnju energije i niske produkcije viška mulja. Međutim, u praktičnoj primeni, anaerobni tretman pati od niskog rasta mikroorganizama, niske stope zasejavanja, nestabilnosti procesa i potrebe za naknadnim tretmanom efluenta, koji često sadrži jone amonijaka NH₄⁺ i vodonik-sulfida HS⁻ [11]. Kod ovih procesa, potpuna stabilizacija organskih materija je nemoguća, zbog visoko opterećenih otpadnih voda. Izlazni efluent, proizveden anaerobnim tretmanom, sadrži rastvorljive organske materije, što je pogodno za dalju obradu aerobnim tretmanom.

Tabela 1. Poređenje aerobnih i anaerobnih tretmana [4],[12]

Svojstvo	Aerobni tretman	Anaerobni tretman
Efikasnost organskog uklanjanja	Visoka	Visoka
Kvalitet efluenta	Odličan	Umereno loše
Organsko opterećenje	Umereno	Visoko
Proizvodnja mulja	Visoka	Niska
Zahtev za substratima	Visok	Niska
Zahtev za alkalnošću	Nisko	Visok za određene industrijske vode
Zahtev za energijom	Visok	Umereno nizak
Temperaturska osetljivost	Niska	Visoka
Vreme startovanja	2-4 nedelje	2-4 meseca
Miris	Postoje male mogućnosti	Potencijalni problemi
Bioenergija i povrat nutrijenta	Ne	Da
Vrsta tretmana	Za sve tipove (zavisno od sirovine)	Uglavnom za predtretman

Aerobno- anaerobni procesi

Tretman kućnih otpadnih voda u sekvencijalnim anaerobno-aerobnim procesima koristi prednosti dva sistema u najisplativijoj kombinaciji parametara. U poređenju sa konvencionalnim aerobnim tehnologijama, kombinovani aerobno-anaerobni sistemi troše izrazito manje energije, proizvode manje viška mulja i manje su kompleksni u radu [13,14].

Nivo azotnog prilagođavanja može se ugraditi u sekvencionalne anaerobno-aerobne sisteme kroz delimičnu recirkulaciju od nitrifiranog aerobnog

efluenta do anaerobnog reaktora za denitrifikaciju, koja će se održati sa anaerobnom digestijom. U integriranim delovima anaerobnih reaktora, deo sadržaja organskog ugljenika u sirovim otpadnim vodama služi kao izvor ugljenika za denitrifikaciju, a ostatak se pretvara u metan. Predložena podešavanja su posebno od interesa za koncentrisane otpadne vode i/ili niže temperature ambijenta [15].

Na osnovu gore navedenih karakteristika, može se zaključiti da upotreba ili samo aerobnih ili samo anaerobnih procesa, u većini slučajeva, može biti nedovoljna. Iz tog razloga, vrlo često koristi se kombinacija aerobnih i anaerobnih procesa. Tako na primer, za tretman otpadnih voda u industriji zelenih maslina sa opterećenjem HPK između 25.000 i 100.000 mg/l, Aggelis je utvrdio da ni aerobni ni anaerobni procesi ne mogu efikasno tretirati otpadnu vodu [16]. Kod ovako visoko opterećene industrijske otpadne vode neophodna je upotreba aerobno-anaerobnih procesa koji dovode do veće efikasnosti uklanjanja organskih materija, manje količine aerobnog mulja i nema potrebe za redukovanjem pH vrednosti.

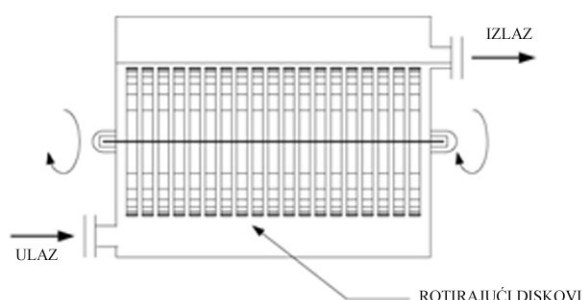
Prednosti aerobno-anaerobnih procesa identifikovali su Frostell i Cervantes [17,18]:

- Veliki potencijal oporavka resursa. Anaerobni predtretman uklanja većinu organskih zagađivača i pretvara ih u biogas,
- Visoka efikasnost ukupnog tretmana. Aerobni naknadni tretman finalizira anaerobni efluent i daje rezultate sa visokom ukupnom efikasnošću. Aerobni tretman, takođe, poravnava fluktuacije u kvalitetu otpadnih voda,
- Manje odlaganje viška mulja. Do obrade najvećeg dela mulja dolazi u anaerobnom rezervoaru, tako da se proizvodi minimum viška mulja, što dovodi do smanjenja raspoloživih troškova. Kao dodatna korist postignut je veći prinos biogasa,
- Niska potrošnja energije. Anaerobni predtretman deluje kao influent koji se uliva u rezervoar za ujednačavanje, smanjenje dnevne varijacije za potražnjom kiseonika dalje rezultira smanjenjem za potrebnim kapacitetom aeracije,
- Kada su prisutni organski volatili, oni se degradiraju u anaerobnom tretmanu, i dalje u aerobnom tretmanu pretvaraju u paru, tako da se može videti da je operativno i ekonomski prihvatljivije korišćenje anaerobno-aerobnih sistema.

3. ANALIZIRANI SISTEMI ZA PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA

Rotacioni biodiskovi RBC

U RBC sistemima, mikroorganizmi pripadaju interno podržanom mediju i formi biološkog filma. Podržani medij, sa sekventno podešenim diskom, delimično ili potpuno je potopljen i polako rotira oko horizontalne ose u rezervoaru, kroz koju protiče otpadna voda. Šema RBC sistema je prikazana na slici 1. Struktura anaerobnog RBC-a slična je kao kod aerobnog RBC-a, osim što je rezervoar pokriven (slika 2) kako bi se izbegao kontakt sa vazduhom [19].



Slika 1. Šematski prikaz aerobnog RBC-a [19]



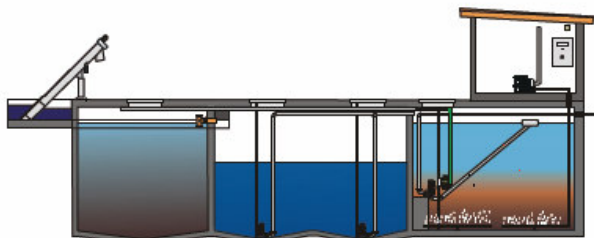
Slika 2. Izgled anaerobnog biodiska

Prednosti RBC sistema su niski energetske zahtevi, kratko vreme zadržavanja, odlična kontrola procesa, mali operativni troškovi i mogućnost rada sa širim spektrima protoka. Nedostaci su nedovoljna fleksibilnost pri variranju opterećenja i radnih uslova [4] kao i česta održavanja na ležajevima vratila i mehaničkim disk jedinicama [20].

Sekvencijalni fazni reaktor SBR

SBR je poboljšana verzija sistema sa aktivnim muljem, koji se sastoji od jednog ili više rezervoara (slika 3 i 4),

a svaki je sposoban za stabilizaciju otpada i odvajanje čestica [21]. Da bi se optimizovao proces obično se koriste dva ili više reaktora u sprezi.



Slika 3. SBR postrojenje srednjeg kapaciteta

Konvencionalni SBR sistemi, uopšteno se sastoje od serije koraka punjenja, reakcije, taloženja, ceđenja i mirovanja u cikličnom radu sa kompletnom aeracijom tokom perioda oksidacije organskih materija i nitrifikacije amonijak-nitrata. Nedavno, SBR sistemi su modifikovani podešavanjem koraka u reakcionom ciklusu radi obezbeđivanja anaerobnih i aerobnih faza u određenom broju i redosleda uklanjanja bioloških materija (C, N i P). SBR proces nudi fleksibilnost u lečenju pri promenljivim protocima, manju uposlenost rukovaoca, opciju za anaerobne ili aerobne uslove u istom rezervoaru, kvalitetan kontakt kiseonika sa mikroorganizmima i substratima, manje površine sistema i dobru efikasnost uklanjanja [22]. Ove prednosti opravdavaju nedavno povećanje primene ovih procesa kod industrijskih [23-25] i komunalnih otpadnih voda [26, 27].



Slika 4. SBR postrojenje srednjeg kapaciteta

Većina anaerobno-aerobnih SBR sistema korišćeni su u tretmanu tekstilnih otpadnih voda za efikasno uklanjanje boja i HPK [28-30]. Obogaćivanje željene

mikrobiološke populacije može se obezbediti alternativnim anaerobno-aerobnim SBR sistemima.

Trajanje koncentracije kiseonika i mešanje može se menjati u skladu sa potrebama određenog postrojenja za prečišćavanje.

4. PREGLED RADOVA

U nastavku teksta dat je pregled radova koji su analizirali RBC i SBR sisteme. U pojedinim radovima korišćeni su RBC sistemi u sprezi dva ili više reaktora, aerobno-anaerobni ili aerobno- aerobni, tako da su se rezultati mogli posmatrati posebno za prvi RBC i posebno za ceo sistem. Ova pojedinična analiza bila je neophodna, jer se u Srbiji, uglavnom, koriste pojedinačne jedinice RBC sistema sa odgovarajućim kapacitetima, koji su usvojeni prema zahtevima.

A. Tawik i ostali poredili su karakteristike jednostepenog i dvostepenog RBC-a pri istim opterećenjima, sa aspekta uklanjanja HPK, amonijaka i E. koli [31]. Temperatura otpadnih voda kretala se između 12 i 24°C. Sistem je radio pri različitim vrednostima hidrauličkog vremena zadržavanja (HRT eng. Hydraulic Retention Time) od 10.5 sati i 2.5 sata, što je pokazalo da se efikasnost znatno smanjuje sa smanjenjem HRT-a. Tako se, sa smanjenjem HRT-a sa 10 na 2.5 h, povećava organsko opterećenje sa 11 na 47 gCOD/m²d. Koncentracija HPK smanjena je sa 496mg/l na 174 mg/l kod jednostepenog, i na 115mg/l kod dvostepenog, što ukazuje da je većina HPK uklonjena kod jednostepenog, međutim nitrifikacija se odigrala u dvostepenom RBC-u, sa ukupnom efikasnošću od 49%. Izlazna koncentracija E. koli je značajno manja kod dvostepenog RBC-a. Takođe, efikasnost uklanjanja TKN-a je 31% kod dvostepenih i 14 % kod jednostepenih.

Demetrios N. Hiras [32] je u laboratorijskim uslovima analizirao rad dvostepenog RBC-a, gde je prvi reaktor bio potpuno potopljen i radio je u aerobnim uslovima, a drugi je radio u anaerobnim uslovima sa uronjenom površinom od 35%. Uzorci otpadne vode uzimani su iz postrojenja grada Patras u Holandiji, koje broji 168.000 stanovnika. Otpadna voda je visoko opterećena (podaci dati u Tab. 2). Pri ukupnom vremenu zadržavanja od 22.5h po ciklusu, vršena je recirkulacija otpadnih voda do 4 puta u toku jednog ciklusa. Organsko i azotno opterećenje kretalo se u proseku 104 gHPK/m²d (59 gBOD₅/m²d) odnosno 4.9 gOxid-N/m²d u anaerobnom reaktoru i 9.2 gHPK/m²d (5.9 gBPK₅/m²d) odnosno

Tabela 2. Karakteristike RBC-a i SBR-a [30-36]

Parametri Tip prečistača	Ulazne koncentracije otpadnih voda						Izlazne koncentracije otpadnih voda						Ref
	HPK mg/l	NH ₄ -N mg/l	TSS mg/l	Total-P mg/l	TKN mg/l	HRT h	HPK mg/l	NH ₄ -N mg/l	TSS mg/l	Total-P mg/l	TKN mg/l	Nitrate mg/l	
RBC aerobni	496	50			61	5	174	43			61	0	[30]
2xRBC aerobni	496	50			61	5	115	28			61	1.4	[30]
RBC anoksičan RBC aeroban	618	43	199	6	64	22.5	112	3.3	80	5.8	9.1	19	[31]
RBC aerobni	300	43		4.9	47	5	76	34				5.3	[32]
2xRBC aerobni	300	43		4.9	47	5	61	12				26	[32]
SBR	238	53	106	6.3	61	6	79	4	12	6	5	42	[33]
SBR	495	24.9	244		48.5	8	45	1				50	[34]
SBR	375	9.2	67	4.6			24	4.3	6.2	2.9		6.9	[35]
SBR	757	363				36	386	0.08				320	[36]

0.99 gNH₄-N/m²d u aerobnom reaktoru. Efikasnost HPK uklanjanja kretala se u rasponu između 53.3 – 95.5%, u proseku 82.3%. Više vrednosti su se javljale kao posledica odvajanja biomase usled veće rotacijebiodiska u aerobnoj jedinici. Što se tiče nitrifikacije, efikasnost uklanjanja azota u smislu NH₄-N u proseku je oko 92.8%, a ukupnog azota oko 54%. Efikasnost HPK uklanjanja se kretala u rasponu između 53.3 – 95.5%, u proseku 82.3%. Više vrednosti su se javljale kao posledica odvajanja biomase usled veće rotacija biodiska u aerobnoj jedinici. Što se tiče nitrifikacije, efikasnost uklanjanja azota u smislu NH₄-N je u proseku oko 92.8%, a ukupnog azota oko 54%.

U ref [33] ispitivana je održivost RBC sistema za posttretman otpadnih voda koje su delimično obrađene u UASB reaktoru (*eng. up-flow anaerobic sludge blanket*), tako da je ulazna otpadna voda u SBR sa manjom koncentracijom zagađujućih materija. Koncentracije HPK, amonijaka i azota su 300, 47 i 43 mg/l, respektivno. Uronjena površina RBC diska je 40%, a zapremina jednog RBC-a je 60 litara. U ovoj studiji prikazani su rezultati efikasnosti sistema pri istim organskim opterećenjima ali sa promenom hidrauličkog vremena zadržavanja otpadne vode. Dobijeni rezultati nedvosmisleno pokazuju da se sa smanjivanjem vremena zadržavanja smanjuje efikasnost uklanjanja zagađujućih materija. Tako je organsko opterećenje povećano sa 6.45 gHPK/m²d na 21.95 gCOD/m²d pri smanjivanju HRT-a sa 10h na 2.5h. Efikasnost prečišćavanja za jednostepeni RBC sistem je oko 75% (76mg/l), a za dvostepeni oko 80%(61mg/l). Takođe, očigledno je da dvostepeni RBC sistemi obezbeđuju veću koncentraciju nitrata u izlazu, 26 mg/l (75%) nasuprot 5.3 mg/l (27%), što pokazuje

na veću nitrifikaciju kod dvostepenih sistema. Ovo se može pripisati smanjenju koncentracije rasutih HPK čestica, koje je postignuto nakon prve faze. Kada je indeks biomase mulja SBI u pitanju, i jedna i druga vrednost premašuju vrednost 0.6 za sva organska opterećenja. To znači da mulj u RBC sistemu nije bio dovoljno stabilizovan i zahteva dalji tretman.

José Tavares de Sousa [34] tretirao je, u laboratorijskim uslovima, komunalnu otpadnu vodu iz grada Kampina Grande (*engl. Campina Grande*) u Brazilu. Postrojenje se sastojalo iz predtretmana u vidu UASB reaktora i posttretmana, koji se sastoji iz dva SBR reaktora. Za prikaz karakteristika u ovom radu, kao ulazni parametar otpadnih voda, koristila se izlazna voda iz predtretmana tj. iz UASB reaktora. Iz rezultata prikazanih u tabeli 2, zaključuje se da je efikasnost nitrifikacije izuzetno visoka- oko 89%, takodje, količina amonijak azota TKN je 5 mg/l, što zadovoljava standarde za ispuštanje u recipijente.

U ref [35] istraživano je uklanjanje azota primenom postupnog hranjenja postrojenja. Upoređivani su rezultati sa laboratorijskog modela i pilot postrojenja grada Caza u Đironi, Španija. U zavisnosti sa vremenom ciklusa i trenutnim opterećenjem otpadne vode, menjale su se izlazne koncentracije merenih parametara. Maksimalne vrednosti HPK i ukupnog azota bile su 125 mg HPK/l i 15mg N/l. Međutim, važno je napomenuti da je, čak i sa visokim varijacijama ulaznog efluenta nakon perioda startovanja, SBR uspevao da održi koncentraciju azota ispod 2 mg/l sa nivoom amonijaka ispod 1 mg/l, što mu daje efikasnost u uklanjanju azota od oko 95%. Takođe, prosečna efikasnost u uklanjanju HPK je 90%.

S.H. Lin [36] istraživao je mogućnost upotrebe otpadne vode u poljoprivredne svrhe nakon tretmana SBR sistemom za prečišćavanje otpadnih voda. Maksimalna zapremina SBR reaktora je 50 litara, sa dnevnim protokom od 26.5 litara. Kao predtretman korišćena je hemijska koagulacija, koja nije mogla da postigne zadovoljavajuće rezultate. Međutim, upotrebom SBR sistema sa dvanaestčasovnim ciklusom, postignuta je visoka efikasnost koja se kretala oko 93.6% u smislu uklanjanja HPK, odnosno, izvršena je redukcija sa 375 na 24 mg/l, što je daleko ispod svih standarda za ispuštanje otpadnih voda. Analogno uklonjenom HPK opterećenju, smanjena je vrednost BPK₅ sa 172 na 14 mg/l, sa efikasnošću od 91.8 %. Što se tiče efikasnosti uklanjanja ukupnog fosfora, ukupnih suspendovanih čestica i ukupnih rastvorenih čestica, one su 37, 90.8, i 74%, respektivno. Što se tiče efikasnosti uklanjanja jedinjenja azota, ona je 53.3%, što je dosta nisko za SBR sisteme, a može se dovesti u vezu sa nedovoljnom količinom kiseonika u procesu nitrifikacije.

D. Kulikowska [37] istraživala je efikasnost uklanjanja jedinjenja amonijaka i azota sa deponijskih otpadnih voda. Proces nitrifikacije vršen je uporedo na dva aerobna SBR-a sa hidrauličkim vremenom zadržavanja od 3 i 2 dana. Nakon procesa nitrifikacije, proces denitrifikacije vršen je na četiri posebna reaktora za denitrifikaciju. Tretirane otpadne vode su visokopterećene sa BPK₅ 757 mg/l, NH₄ 362 mg/l, BPK₅ 105 mg/l. Nizak odnos (0.14) BPK₅/HPK ukazuje na nisku mogućnost biodegradacije ove otpadne vode, tako da je u anoksičnom reaktoru dodavan dodatni izvor ugljenika za proces denitrifikacije. Ustanovljeno je da hidrauličko vreme zadržavanja od 2 dana sasvim zadovoljava. U ovom istraživanju, koncentracija jedinjenja amonijak-nitrogena nije prelazila 0.08 NH₄mg/l. Pri HRT-u od 2 dana postignuta je ukupna efikasnost nitrifikacije od 90% za SBR-1 (HRT 3 dana) i 86% za SBR-2 (HRT 2 dana), odnosno 0.07 NH₄mg/l i 0.08 NH₄mg/l. Takođe pri doziranju metanola od 3.6 mg/l postizala se stopa denitrifikacije od 40.2 mgN_{N-NO_x}, a srazmerno dodavanju metanola povećavala se i stopa nitrifikacije.

Tabela 3. Cene opreme za prečišćavanje otpadnih voda [38,39]

TIP/EKV. STAN.	RBC	SBR
150 ES	16.675,00	17.950,00
600 ES	60.950,00	62.850,00
1000 ES	74.750,00	82.520,00
2500 ES	116.150,00	127.000,00

U tabeli 3, prikazane su cene opreme za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda. U cenu nisu uračunati građevinski radovi, projektna dokumentacija, transport, carinjenje i montaža opreme. SBR sistemi su nešto skuplji u proseku za oko 5-8 %, što je, u investicionom smislu, neznatno za ovakve vrste postrojenja.

5. ZAKLJUČAK

Pri donošenju zaključaka o karakteristikama ovih sistema za tretman komunalnih otpadnih voda, mora se voditi računa o poređenju isih sa aspekata sistema koji se koriste u Srbiji. Važno je napomenuti da su danas najzastupljeniji jednostepeni RBC sistemi, a da se se dvostepeni RBC sistemi (obično dva RBC-a povezana redno) vrlo retko koriste. Što se tiče upotrebe SBR sistema, zbog svoje visoke investicione cene, oni tek treba da dožive punu primenu u Srbiji. Na osnovu dostupne literature o radu ovih sistema, može se zaključiti sledeće:

1. Sa aspekta zahtevanih vrednosti, koncentracija zagađujućih materija u otpadnim vodama pri ispuštanju u recipijent, sekvencijalni fazni reaktori SBR i rotirajući biološki diskovi, zadovoljavajući su, s tim što SBR sistemi imaju veću efikasnost koja može dostizati i 99%.
2. Upoređivanjem jednostepenih RBC-a (do 70%) i dvostepenih RBC-a (do 85%) može se zaključiti da su dvostepeni RBC sistemi daleko efikasniji sa aspekta efikasnosti uklanjanja HPK-a.
3. SBR sistemi dobro podnose dnevne varijacije hidrauličkog protoka i koncentracije zagađivača ali se mora voditi računa o količini aktivnog mulja, odnosno, da ne dođe do pojave nedostatka aktivnog mulja pri povećanju opterećenja.
4. Odgovarajućim konstrukcionim rešenjem i RBC sistemi mogu da podnesu dnevne varijacije u protoku, međutim, zbog pokrivenosti biofilma vrlo lako može doći do deficita kiseonika za obavljanje reakcija.
5. I kod RBC i kod SBR sistema neophodno je održavanje optimalne temeperature, odnosno, sa smanjivanjem temeperature smanjuje se efikasnost procesa prečišćavanja, s tim što su, zbog svoje konstrukcije i principa rada, RBC sistemi nepovoljni za rad u sredinama gde se temperatura često spušta ispod nule.
6. Efikasnost uklanjanja organskog azota kod jednostepenih SBR sistema izuzetno je mala (do

20%), kod dvostepenih anaerobno-aerobnih RBC sistema dosta veća (do 70%), dok je kod SBR sistema izuzetno visoka i, ako se dobro vodi proces, može doći do potpunog uklanjanja azota nakon procesa denitrifikacije.

7. Uklanjanje fosfora gotovo da nije ni prisutno kod RBC sistema, dok SBR sistemi, zbog svoje mogućnosti da u toku jednog ciklusa, pored anaerobnih i aerobnih uslova, obezbede i anoksične uslove, mogu se koristiti i za uklanjanje fosfora.
8. Kod SBR sistema nema pojave neprijatnih mirisa, dok je kod jednostepenih RBC sistema to neizbežno
9. Zbog zahteva za automatizovanošću procesa, SBR sistemi su dosta kompleksiniji u odnosu na RBC sisteme.
10. Primenom PLC kontrolera i njihovim povezivanjem u SCADA sistem, SBR sistemi pružaju mogućnost daljinske kontrole i upravljanje parametrima procesa.
11. Izgradnjom više reaktora uz odgovarajuću predobradu krupnog otpada, SBR sistemi mogu se koristiti za tretman otpadnih voda većih kapaciteta.
12. SBR i RBC sistemi imaju sličnu cenu, tako da ovaj parametar, nezavisno posmatran, ne može bitno uticati na izbor opreme. Međutim, kada se uzme u obzir do sada navedeno, ovaj parametar može samo ići u prilog SBR sistemima.

LITERATURA

- [1] Council, E. P. (Eur J 2000;L327:1-72). Water framework directive (Directive 2000/60/EC of 23 October 2000).
- [2] Gavrilescu, M. M. Process engineering in biological aerobic wastewater treatment. *Acta Biotechnol* 1999, vol 19 (2) , 111–145.
- [3] F.Y. Cakir, M. S. Greenhouse gas production: a comparison between aerobic and anaerobic wastewater treatment technology. *Water Research* 2005, vol 39, pp 4197–4203.
- [4] C.P. Leslie Grady Jr., G. D. Biological Wastewater Treatment, second ed., revised and expanded. 1999 CRC Press.
- [5] Lettinga, C. Anaerobic digestion and wastewater treatment systems. *Antonie van Leeuwenhoek* 1995, vol 67 , pp 3–28.
- [6] Elmitwalli, T. Treatment of domestic sewage at low temperature in a two-anaerobic step system followed by a trickling filter. *Water Sci. Technol.* 2003 vol 48 no 11–12, pp 199–206.
- [7] Tawfik, A. K.-G. Potentials of using a rotating biological contactor (RBC) for post treatment of anaerobically pretreated domestic wastewater. *Biochem. Eng. J.* 2005, vol 25, pp 89-98.
- [8] Chernicharo, C. Post treatment options for the anaerobic treatment of domestic wastewater. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 2006, vol 5, pp 73–92.
- [9] Keller, R. P.-F. Pathogen removal efficiency from UASB + BF effluent using conventional and UV post treatment systems. *Water Sci. Technol.* 2004, vol 50 no1, pp 1-6.
- [10] Pant, A. M. Monitoring of pathogenicity of effluents from the UASB based sewage treatment plant. *Environ. Monit. Assess.* 2007, vol 133, pp 43-51.
- [11] J.J. Heijnen, A. M. Large-scale anaerobic–aerobic treatment of complex industrial-waste water using biofilm reactors. *Water Science and Technology* 1991, vol 23, pp 1427–1436.
- [12] Yeoh, B. Anaerobic treatment of industrial wastewaters in Malaysia. *Post Conference Seminar on Industrial Wastewater Management in Malaysia.* Kuala Lumpur, Malaysia 1995.
- [13] van Haandel, A. L. *Anaerobic Sewage Treatment.* John Wiley and Sons 1994.
- [14] M. von Sperling, C. *Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions.* IWA Publishing 2005.
- [15] van Lier, J. High-rate anaerobic wastewater treatment: diversifying from end of the pipe treatment to resource oriented conversion techniques. *Water Sci. Technol.* 2008, vol 57 no 8, pp 1137–1147.
- [16] G.G. Aggelis, H. G. Combined, separate aerobic and anaerobic biotreatment of green olive debittering wastewater. *Journal of Agricultural Engineering Research* 2001, vol 80, pp 283–292.
- [17] Frostell, B. Anaerobic–Aerobic Biological Treatment of Starch Industry Waste Waters. *Starch—Stärke* 1983, vol 35, pp 185–189.
- [18] F.J. Cervantes, S. P. *Advanced Biological Treatment Processes for Industrial Wastewaters: Principles and Applications.* IWA Publishing 2006.

- [19] von Sperling, M. C. *Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions*. IWA Publishing 2005.
- [20] D. Mba, R. H. *Mechanical Redesign Of The Rotating Biological Contactor*. *Wat. Res.* Vol. 1999, vol 33, no. 18, pp 3679-3688.
- [21] Eddy, M. a. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*, fourth ed. McGraw Hill 2003.
- [22] Y.-H. Kim, C. Y.-B. Optimization of biological nutrient removal in a SBR using simulation-based iterative dynamic programming. *Chemical Engineering Journal* 2008, vol 139, pp 11–19.
- [23] K.V. Lo, P. L. Anaerobic aerobic biological treatment of screened dairy manure. *Biomass* 1986, vol 10, pp 187–193.
- [24] K.V. Lo, P. L. Anaerobic–aerobic biological treatment of amixture of cheese whey and dairy manure. *BiologicalWastes* 1989, vol 28, pp 91–101.
- [25] S.V. Mohan, N. R. Treatment of complex chemical wastewater in a sequencing batch reactor (SBR) with an aerobic suspended growth configuration. *Process Biochemistry* 2005, vol 40, pp 1501–1508.
- [26] Y. Gao, C. F. Municipal wastewater treatment using sequencing batch biofilm reactor (SBBR). *International Conference on Advances in Chemical Technologies for Water and Wastewater Treatment*. Xian, PR China 2008.
- [27] B. Ni, W. X. Granulation of activated sludge in a pilot-scale sequencing batch reactor for the treatment of low-strength municipal wastewater. *Water Research* 2009, vol 43, pp 751–761.
- [28] N. Supaka, K. J. Microbial decolorization of reactive azo dyes in a sequential anaerobic–aerobic system. *Chemical Engineering Journal* 2004, vol 99, pp 169–176.
- [29] I.C. Goncalves, S. P. Evaluation of an integrated anaerobic/aerobic SBR system for the treatment of wool dyeing effluents. *Biodegradation* 2005, vol 16, pp 81–89.
- [30] I.K. Kapdan, R. O. The effect of hydraulic residence time and initial COD concentration on color and CODremoval performance of the anaerobic–aerobic SBR system. *Journal of Hazardous Materials* 2006, vol 136, pp 896–901.
- [31] A. Tawfik, H. T. Sewage Treatment In A Rotating Biological Contactor (Rbc) System. *Water, Air, & Soil Pollution* 2006, pp 275–289.
- [32] Demetrios N. Hiras, I. D. Organic and nitrogen removal in a two-stage rotating biological contactor treating municipal wastewater. *Bioresource Technology* 2004, vol 93, pp 91–98.
- [33] Ahmed Tawfik, B. K. Treatment of anaerobically pre-treated domestic sewage by a rotating biological contactor. *Water Research* 2002, vol 36, pp 147–155.
- [34] José Tavares de Sousa, I. N. Nitrification in a submerged attached growth bioreactor using *Luffa cylindrica* as solid substrate. *African Journal of Biotechnology* 2008, vol. 7 no15, pp 2702-2706.
- [35] S. Puig, M. V. Wastewater nitrogen removal in SBRs, applying a step-feed strategy: from lab-scale to pilot-plant operation. *Water Science and Technology* 2004, vol 50 no 10, pp 89–96.
- [36] S.H. Lin, K. C. A new sequencing batch reactor for treatment of municipal sewage wastewater for agricultural reuse. *Desalination* 2001, vol 133, pp 41-51.
- [37] D. Kulikowska, E. K. Removal of Organics and Nitrogen from Municipal Landfill Leachate in Two-Stage SBR Reactors. *Polish Journal of Environmental Studies* 2004, vol. 13, no. 4 , pp 389-396.
- [38] web site: http://www.sewagetreatment.org.uk/html/contact_us.html, pristupljeno avgust 2011 godine
- [39] web site: <http://www.megaprojekt.rs/index.php/kontakt>, pristupljeno avgust 2011 godine.

COMPARATIVE REVIEW OF ROTATING BIOLOGICAL CONTACTOR AND SEQUENCING BATCH REACTOR SYSTEMS FOR MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT

by

Dragan CVETKOVIĆ dipl.maš.inž^{*}, prof. dr. Vanja ŠUŠTERŠIČ
Faculty of Mechanical Engineering, Kragujevac,
^{*}e-mail:dragan_cw8202@yahoo.com

Summary

In developing countries, simpler and cheaper systems should be encouraged to use for sustainable wastewater treatment while efficiency is not compromised. This paper is written in order to comparing the effect of two types of available technologies for municipal wastewater treatment in Serbia. In this paper the most applied sorts of technology in developing countries was compared – rotating biological discs (RBC) technology

and the sequential batch reactors SBR which is still developing and whose use is rapidly growing worldwide in recent years.

Key words: Sequencing Batch Reactor (SBR), Rotating Biological Contactor (RBC), aerobic treatment, anaerobic treatment, anaerobic-aerobic treatment.

Redigovano 14.10.2011.