

ANALIZA RADA SBR POSTROJENJA PROMENOM VREMENA REAKCIJE

ANALYSIS OF SBR PLANT OPERATION BY CHANGING THE REACTION TIME

Marijana Milić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GRAĐEVINARSTVO

Kratak sadržaj – Zadatak rada obuhvata proračun i dimenzionisanje postrojenja za biološko prečišćavanje otpadnih voda aktivnim muljem primenom SBR sistema za slučaj kontinualnog i diskontinualnog dotoka vode. Cilj je prikazati koliko je vremenski parametar trajanja celokupnog ciklusa, a i pojedinačnih faza, značajan za proces prečišćavanja u pogledu opterećenja, dimenzija reaktora i predrezervoara, kapaciteta pumpi i dekantera, potrebne količine kiseonika, mase mulja koju je potrebno ukloniti i ostalih radnih parametara.

Ključne reči: *otpadne vode, uređaj za prečišćavanje, SBR*

Abstract – The main objective of this paper includes the calculation and dimensioning of the biological wastewater treatment plant with activated sludge using the SBR system for the case of continuous and discontinuous water inflow. The aim is to show how important the time parameter of the entire cycle is, as well as duration of individual phases, for the treatment process in terms of load, reactor and pre-tank dimensions, pump and decanter capacity, required amount of oxygen, mass of sludge to be removed and other operating parameters.

Keywords: *wastewater, wastewater treatment plant, SBR*

1. UVOD

Primena konvencionalnog tipa se dosta dugo zadržala u praksi biološkog prečišćavanja otpadnih voda i pored činjenice da postoje brojne tehnologije koje teže da preuzmu primat u toj oblasti. Jedna od takvih je i SBR tehnologija (eng. Sequencing Batch Reactor) koja predstavlja modifikaciju konvencionalnog postupka sa aktivnim muljem, ali na principu šaržnog načina rada bioreaktora (rad u intervalima). Glavna razlika je ta što se u konvencionalnom procesu sa aktivnim muljem procesi odigravaju u različitim bazenima, dok se kod intenzivnog procesa (SBR) odigravaju u istom bazenu.

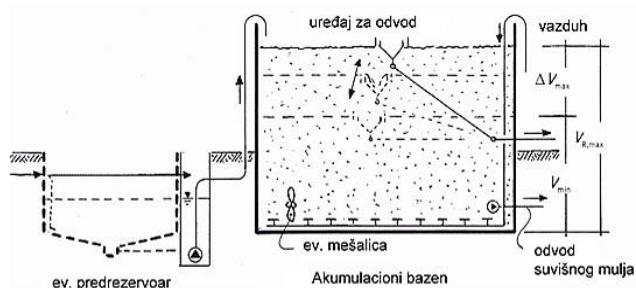
2. METODOLOGIJA

SBR je tretman sa aktivnim muljem, koji se bazira na punjenju i pražnjenju i koji obezbeđuje odvijanje različitih tretmana u jednom reaktoru.

NAPOMENA:

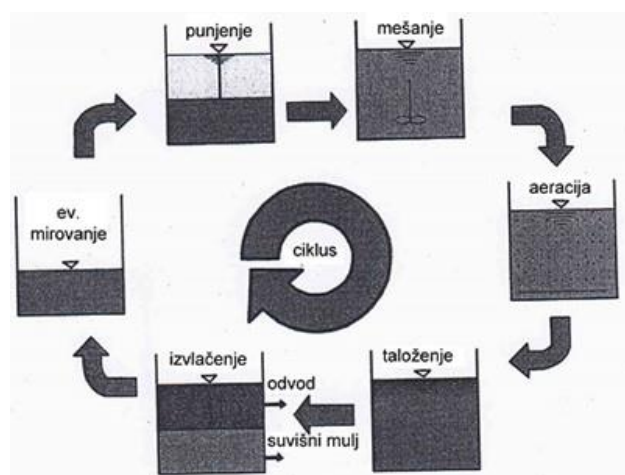
Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio doc. dr Matija Stipić.

Reaktor, u kome se odvijaju biološki procesi čišćenja kao i odvajanje aktivnog mulja i prečišćene vode, se naziva još i „akumulacioni bazen“. Sekvencijalni šaržni reaktor se može sastojati od jednog ili više akumulacionih bazena. Tehnička oprema akumulacionog bazena se sastoji najmanje od dovoda otpadne vode, sistema za odvod čiste vode, aeracionog uređaja, odvoda viška mulja i eventualno mešalice. Na slici 1. dat je šematski prikaz SBR sistema.



Slika 1. *Skica principa rada sekvencijalnog šaržnog reaktora [2]*

Rad SBR reaktora odvija se šaržno, tj. u ciklusima. Trajanje ciklusa podeljeno je na faze (slika 2.) koje se odvijaju u unapred određenim i programiranim intervalima.



Slika 2. *Faze SBR-a [2]*

Utvrđivanje trajanja ciklusa je od odlučujućeg značaja za proračun SBR postrojenja. Obično se trajanja faza navode u literaturi kao procentualni deo celog ciklusa a mogu da se kreću u rasponu od 4 do 12 sati. Trajanja ciklusa kraća od 4 sata nisu preporučljiva kao osnova za proračun za normalni rad, jer se sedimentaciona faza ne može skratiti. Postoje tri načina funkcionisanja SBR postrojenja [2]:

- kontinuirani dovod otpadne vode (trajanje punjenja = trajanje ciklusa),
- sekvencijalno punjenje postrojenja bez predspojenog predrezervoara, isključivo ostvarivo sa najmanje dva akumulaciona bazena,
- sekvencijalno punjenje postrojenja sa predrezervoarom.

U slučaju kontinualnog dovoda otpadne vode postoji rizik od pogoršanja odvoda jer se nepročišćena otpadna voda dovodi u akumulacioni bazen konstantno i tokom faze odvoda prečišćene vode. To se mora sprečiti konstrukcijskim merama, npr. odvajanjem dela dovoda uronjivom pregradom.

Kod šeme procesa tipa „sekvencijalno punjenje bez predrezervoara“ potrebna su minimum dva akumulaciona bazena. Otpadna voda koja stalno dotiče u postrojenje za prečišćavanje se prvo dovodi u jedan akumulacioni bazen, a posle toga u drugi akumulacioni bazen.

Ukoliko se vrši „sekvencijalno punjenje sa predrezervoarom“ stvaraju se optimalni polazni uslovi za stvaranje aktivnog mulja koji se dobro taloži. Upotreba predrezervoara je utoliko preporučljiva ukoliko su predviđena različita trajanja ciklusa u slučaju kiše i suše, kao i kada je potrebno skraćivanje trajanja ciklusa u slučaju povećanog dotoka.

2.1. Dimenzionisanje SBR postrojenja

Dimenzionisanje postrojenja za biološko prečišćavanje otpadnih voda aktivnim muljem primenom SBR sistema za potrebe ovog rada rađeno je u programskom jeziku Fortran, na osnovu opšte prihvaćenih nemačkih standarda ATV DVWK A 131 [1] i DWA-M 210 [2].

Cilj je bio ukazati na razliku između dva načina funkcionisanja SBR sistema (kontinualni i diskontinualni dotok otpadne vode u reaktor), a potom pokazati koliko je ustvari utvrđivanje trajanja ciklusa i pojedinih faza od odlučujućeg značaja za proračun jednog SBR postrojenja (varijante sa različitim trajanjima ciklusa i faza). Pod biološkim prečišćavanjem u ovom slučaju, podrazumeva se uklanjanje ugljeničnog zagađenja, nitrifikacija azotnih jedinjenja i denitrifikacija u SBR reaktoru (aeracionom bazenu sa integrisanom funkcijom naknadnog taložnika). Uporedo sa navedenim postupcima odvija se i određena simultana defosforizacija. Kako se ovim postupcima ne postižu zadate granične koncentracije, to je predviđena i primena dodatne hemijske defosforizacije. Obezbeđenje osnovnih preduslova za ovaj postupak postiže se namenskim upravljanjem sistema za aeraciju i odvoda izbistrene vode iz SBR reaktora [4].

Kako se obično projektnim zadatkom na samom početku definiše merodavno opterećenje postrojenja i kvalitet sirove vode koja se dovodi na postrojenje, uzeti su podaci za jedno postrojenje koje je već u fazi eksploatacije – PPOV Kovilj [3].

Imajući u vidu količinu otpadne vode koja dolazi na sistem za prečišćavanje (maksimalno dnevno hidrauličko opterećenje 1290 m³/dan), usvojena su ukupno dva SBR reaktora za kapacitet od 6500 ES. Svaki bazen je pregradnim zidom podeljen na dve komore. Prvi deo bazena je tzv. „predreakciona komora“, a drugi deo tzv. „reakciona komora“. Zapremina predreakcione komore je

znatno manja i iznosi oko 15 % ukupne zapremine SBR reaktora.

Razmatrane su dve varijante dovoda otpadne vode – kontinualno i diskontinualno dovodenje. Kada se dovod otpadne vode vrši kontinualno nema u klasičnom smislu faze punjenja, jer je dužina faze punjenja jednaka dužini trajanja ciklusa. Kod diskontinualnog dovoda, punjenje je kratkoročno, obično do 25 % od ukupnog trajanja ciklusa. U bazenima koji se tokom vremenski ograničenih intervala pune, promene koje nastupe u dovodu postrojenja za prečišćavanje nakon završetka faze punjenja nemaju uticaj na proces [2].

Trajanje pojedinačnih procesnih faza moguće je skratiti ili produžiti u zavisnosti od trenutnih uslova, tako da se sa sigurnošću ostvare željene granične vrednosti odvoda. Prikazaće se rezultati proračuna za slučaj kontinualnog rada sa izmenama do kojih dolazi kada je dovod diskontinualan. Te izmene se ogledaju u dodavanju jednog novog elementa – predrezervoara (egalizacioni ili pufer bazen), koji je opremljen sa utopnom pumpom (konfiguracija može biti 1 + 1, jedna radna i jedna rezervna). Otpadne vode iz predrezervoara oslobođene mehaničkih nečistoća i nakon ujednačavanja kvaliteta, periodičnim radom pumpe prebacuju se u biološke reaktore.

U sekvencijalnom šaržnom reaktoru starost mulja treba dovesti u korelaciju sa trajanjem reakcione faze (t_R), koja se dobija iz trajanja ciklusa (t_Z) nakon odbijanja trajanja sedimentacije (t_{Sed}) i trajanja odvoda prečišćene vode (t_{Ab}), eventualno anaerobne faze za biološku eliminaciju fosfata (t_{BioP}) kao i u određenim okolnostima faze mirovanja (t_{Still}).

Određivanje vremena reakcije vrši se po sledećoj formuli (1):

$$t_R = t_Z - t_{Sed} - t_{AB} - t_{BioP} \quad (1)$$

Ukoliko se odabere statično punjenje (tj. bez aeracije i/ili mešanja tokom faze punjenja), mora se dodatno odbiti i faza punjenja (t_F). Ovo je u suštini najbitnija stvar na koju bi trebalo obratiti pažnju kod predmetnih varijanti analiziranih u radu.

U nastavku prikazaće se rezultati dimenzionisanja postrojenja za biološko prečišćavanje otpadnih voda aktivnim muljem primenom SBR sistema za slučaj diskontinualnog dotoka vode za više varijanti koje se međusobno razlikuju po trajanju ciklusa, kao i pojedinačnih faza u okviru istog. Pri određivanju trajanja pojedinih faza u ciklusu vodilo se preporukama iz literature, pa je za trajanje punjenja usvojeno 25 %, a za vreme dekantiranja 12,5 % od trajanja celokupnog ciklusa.

Varijantu I predstavlja SBR postrojenje sa trajanjem ciklusa od 4,8 h, gde je faza punjenja kratkoročna u trajanju od 0,8 h (nisu korišćene preporuke iz literature). Za varijantu II karakteristično je to da je vreme trajanja ciklusa ostalo isto kao u prvoj varijanti – 4,8 h, ali su ispoštovane gore napomenute preporuke u vezi trajanja faze punjenja i dekantiranja.

Varijanta III ima ista trajanja ciklusa i pojedinačnih faza kao i varijanta II, međutim, razlika je u tome što se kod računanja vremena reakcije odbija faza punjenja, čime se vreme reakcije skraćuje. Napomenuto je da ukoliko se odabere statično punjenje – bez aeracije i/ili mešanja tokom punjenja, mora se dodatno odbiti i faza punjenja. Koliko je to uticajno na proces i na finalne količine pokazuje varijanta III. Varijante IV i V su slične varijanti III (odbija se vreme punjenja kod računanja vremena reakcije) s tim da je vreme trajanja ciklusa povećano na 6 h (varijanta IV) i 8 h (varijanta V).

Ulazni podaci koji se menjaju za ovih pet varijanti dati su u Tabeli 1.

Tabela 1. Promenljivi ulazni podaci za varijante koje su predmet analize

vreme [h]/var	I	II	III	IV	V
t_z ciklus	4,8	4,8	4,8	6,0	8,0
t_F punjenje	0,8	1,2	1,2	1,5	2,0
t_{SED} taloženje	0,8	0,6	0,6	0,5	1,0
t_{AB} dekantiranje	1,0	0,6	0,6	0,75	1,0
t_{BioP} bio.defosfor.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
početak dekantiranja	0,8	0,6	0,6	0,75	1,0
kraj dekantiranja	1,8	1,2	1,2	1,5	2,0

Postupak dimenzionisanja kao i ostali ulazni podaci [3] identični su za sve varijante. Simulacije su odrađene u programskom jeziku Fortran a dimenzionisanje je izvršeno na osnovu opšte prihvaćenih nemačkih standarda ATV DVWK A 131E [1] i DWA-M 210 [2].

3. REZULTATI ANALIZE

Za svih pet varijanti koje su predmet analize, eliminacija azota daje potpuno identične rezultate, što ukazuje na to da je proces uklanjanja azota potpuno nezavisan od trajanja ciklusa, kao i pojedinih faza u okviru istog.

Za svih pet varijanti denitrifikacijom je potrebno ukloniti $S_{NO_3,D} = 32$ mg/L nitratnog azota, specifična produkcija mulja od razgradnje organskog ugljeničnog zagađenja iznosi $S_{PC,BOD} = 1.071505$ kgSS/kgBOD, a ukupna količina mulja od razgradnje organskog ugljeničnog zagađenja je $S_{Pd,C} = 417.8870$ kgSS/dan.

Kod eliminacije fosfora jedino što se razlikuje kod varijanti jeste vreme doziranja $FeCl_3$ dnevno i potreban maksimalni kapacitet dozir pumpi. Vreme doziranja $FeCl_3$ u svakom ciklusu je isto za sve varijante i iznosi 0,5 h, međutim kako su trajanja ciklusa različita za varijante IV (ciklus traje 6 h) i V (ciklus traje 8 h) u odnosu na prve tri (ciklus traje 4,8 h), tako imamo i različit broj ciklusa u toku dana (za prve tri varijante broj ciklusa na dan je 5, za četvrtu varijantu 4, a za petu 3) a samim tim i vreme doziranja $FeCl_3$ dnevno. Pošto je vreme doziranja $FeCl_3$ dnevno različito, različit je i potreban kapacitet dozir pumpi koji je na osnovu tog podatka sračunat.

Kod dimenzionisanja reaktora (SBR bazena) ključna razlika nastaje kod određivanja vremena reakcije (Tabela 2.) i to se kasnije provlači kroz proračun za ostale parametre.

Tabela 2. Promena vremena reakcije za predmetne varijante

parametar/var	I	II	III	IV	V
t_R vreme reakcije (h)	3	3,6	2,4	3,25	4
vreme denitrifikacije (h)	1,067	1,280	0,853	1,155	1,422
vreme nitrifikacije (h)	1,933	2,320	1,547	2,094	2,578

Svi parametri vezani za reaktor (potrebna količina mulja u bazenima, minimalna zapremina, kapacitet dekantiranja, itd.) menjaju se za svaku varijantu jer zavise direktno ili indirektno od vremena reakcije ili vremena trajanja ciklusa (kao npr. potrebna količina mulja u SBR bazenima koja zavisi direktno od obe veličine – upravo srazmerna trajanju ciklusa, a obrnutno proporcionalna vremenu reakcije).

Kapacitet dekantiranja zavisi od radne zapremine SBR-a i trajanja faze dekantiranja, a ti parametri se za ove varijante i te kako menjaju. Promene nivoa tokom eksploatacije zavise od početka i kraja dekantacije tako da su specifični za svaku varijantu ponaosob i nema ih poente porediti, osim u slučaju varijanti II i III gde su vremena faza ista. Kod varijanti II i III trajanje ciklusa i pojedinih faza je isto, međutim napomenuto je da se razlikuje vreme reakcije. Pošto je za varijantu III vreme reakcije kraće, a potrebna količina mulja obrnuto proporcionalna tom vremenu, kao rezultat dobijamo veću potrebnu količinu mulja koja za sobom vuče i veće zapremine reaktora.

Usvojene dimenzije reaktora za sve varijante prikazane su u Tabeli 3. Iz priloženog se zaključuje da su dimenzije reaktora veće ukoliko čitav ciklus traje duže i ukoliko pri istom trajanju svih faza imamo kraće vreme reakcije.

Tabela 3. Usvojene dimenzije reaktora

parametar/var	I	II	III	IV	V
širina rezervoara (m)	8,8	8,2	9,7	9,5	10,0
korisna dužina reakcione komore (m)	23,0	21,3	25,3	24,8	26,5
korisna dužina predreakcione komore (m)	3,5	3,2	3,8	3,7	4,0

Svih pet varijanti predstavljaju simulacije sa diskontinualnim dovodom otpadne vode u SBR reaktor, tako da kod svih postoji predrezervoar sa uronjenom pumpom, čije su dimenzije i kapacitet dati u Tabeli 4.

Tabela 4. *Određivanje zapremine predrezervoara i kapaciteta pumpe - rezultati*

parametar/var	I	II	III	IV	V
efektivna zapr. predrez. (m ³)	172,5	172,5	172,5	215,6	287,5
potreban kap. pumpe (L/S)	60	40	40	40	40

Pored broja ciklusa na dan, čiji je razlog zašto se menja očišćenje, sa porastom vremena trajanja ciklusa raste i maksimalna časovna potrošnja kiseonika. Ako se uporede varijante II i III čije su faze jednakog trajanja a vreme reakcije različito, vidi se da je veća potrošnja kiseonika tamo gde je kraće vreme reakcije. Prikaz rezultata dat je u Tabeli 5.

Tabela 5. *Potrebna količina kiseonika za jedan bazen - Maksimalna časovna potrošnja kiseonika za različite varijante SBR ciklusa*

parametar/var	I	II	III	IV	V
broj ciklusa na dan (/)	5	5	5	4	3
AOR max časovna potrošnja O ₂ (kgO ₂ /h)	46	38	58	53	58
SOR preračunavanje na standardne uslove (kgO ₂ /h)	92	77	116	107	116

Na dimenzionisanje aerobnog digestora, određivanje potrebne količine kiseonika za dostabilizaciju mulja i mašinsko odvodnjavanje – dehidraciju, ne utiču parametri promenljivog karaktera pa su zato vrednosti za sve predmetne varijante iste.

4. ZAKLJUČAK

U prvom delu analize izvršeno je poređenje dva načina dovoda otpadne vode na postrojenje: kontinualni i diskontinualni dovod. Osnovna razlika između ta dva slučaja je postojanje predspojenog rezervoara. Pokazalo se da je dovoljan jedan takav predrezervoar sa volumenom jednakim radnoj zapremini reaktora, jer je punjenje kratkoročno. Dalje se analiza bazira na promeni vremena trajanja ciklusa pri istom ES i hidrauličkom opterećenju. Analizirane varijante obuhvataju trajanja ciklusa od 4,8 h, 6 h i 8 h. Uvođenjem statičnog punjenja u analizu dolazi se do kraćih trajanja reakcionih faza (faza nitrifikacije i denitrifikacije) čime se povećava potreba za kiseonikom, odnosno njegova potrošnja. Karakteristike ulaznog influenta iste su za sve predmetne varijante.

Pokazalo se da na uklanjanje azota i fosfora parametri menjani u varijantama ne utiču. Promena vremena reakcije, međutim, utiče na većinu izlaznih parametara dalje u analizi, pre svega preko potrebne količine mulja u SBR bazenima, koja se provlači dalje kroz proračun. Dimenzije reaktora su veće ukoliko je trajanje reakcije kraće, kao i ukoliko je celokupan ciklus duži. Kapacitet

pumpe u predrezervoaru je utoliko veći ukoliko je kraće vreme punjenja reaktora.

Što se tiče linije mulja, osim količine mulja koja se dovodi po ciklusu, svi rezultati su manje više isti za analizirane varijante. Aerobni digestor, čija je uloga da obezbedi dopunsku stabilizaciju mulja, u svim slučajevima ima iste dimenzije.

Na osnovu analize odrađene u radu može se zaključiti:

- Postupak rada SBR-a sa dovodom otpadne vode tokom faze punjenja (vremenski ograničenog perioda) ima prednost u odnosu na kontinualni dovod u tome što je sprovođenje procesa nezavisno od varijacija zapreminskog protoka i zagađenih materija u dovodu, a uzgred se poboljšava taloženje aktivnog mulja. Promene koje nastupaju u dovodu nakon faze punjenja nemaju uticaj na proces.
- Trajanje pojedinačnih procesnih faza moguće je skratiti ili produžiti, tako da se sa sigurnošću ostvare željene granične vrednosti odvoda. To može biti uspešno samo ukoliko SBR poseduje dovoljno visok hidraulički prijemni kapacitet i ako merne i regulacione jedinice pouzdano rade.
- Predrezervoar je bitan element tehnološke celine PPOV-a jer omogućava kvalitativno i kvantitativno ujednačenje sastava i dovoda otpadne vode. Poseban značaj ima ukoliko postoje predikcije o širenju kanalizacione mreže, povećanju ES i hidrauličkog opterećenja.
- Dužina trajanja ciklusa i nije toliko merodavna i uticajna za proračun i određivanje volumena i dimenzija elemenata, koliko je značajna dužina reakcione faze.
- Objekti sa dužim vremenom trajanja ciklusa pokazali su se kao investiciono skuplji u odnosu na objekte sa kraćim vremenom trajanja ciklusa.

5. LITERATURA

- [1] ATV DVWK A 131 – Nemački standard za dimenzionisanje postrojenja za biološko prečišćavanje otpadnih voda aktivnim muljem
- [2] DWA - M 210 – Pravilnik Nemačkog udruženja za vodoprivredu, otpadne vode i otpad za dimenzionisanje sekvencijalnog šaržnog reaktora
- [3] Glavni projekat postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda (PPOV) sa odvodom prečišćene vode u recipijent u naselju Kovilj
- [4] Skripta iz predmeta Tretman voda, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Matija Stipić, 2021.g.

Kratka biografija:



Marijana Milić rođena je u Subotici 1995. godine. Diplomski rad iz oblasti Građevinarstva – Hidrotehnički objekti i sistemi odbranila je 2020. godine na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu. Master rad iz oblasti Građevinarstva – Tretman voda, brani na istom fakultetu 2021. godine.