

**SAVEZ INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE**



**44. MEĐUNARODNA  
KONFERENCIJA**

**ZBORNİK RADOVA  
VODOVOD I KANALIZACIJA '23**

**Zlatibor  
10 - 13. oktobar 2023.**



**ИНЖЕЊЕРСКА  
КОМОРА  
СРБИЈЕ**



**SAVEZ INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE**

**44. Međunarodna konferencija**  
**VODOVOD I KANALIZACIJA '23**

**Zbornik radova**

**Zlatibor, 10 – 13. oktobar 2023.**

**Izdavač:**

Savez inženjera i tehničara Srbije, Beograd

**Za izdavača:**

mr Bogdan Vlahović, dipl. inž, generalni sekretar

**Programski odbor:**

prof. dr Milovan Živković, (predsednik), prof. dr Srđan Kolaković, prof. dr Aleksandar Đukić, prof. dr Srđan Rončević, prof. dr Jovan Despotović, prof. dr Dragan Milićević, prof. dr Rada Petrović, Vladimir Milojević, Dušan Đurić, Miodrag Popović, dr Zorica Lopičić, dr Dragana Randelović, prof. dr Goran Orašanić, prof. dr Darko Vuksanović, prof. dr Goran Sekulić, prof. dr Vaso Novaković, mr Olivera Doklešić, prof. dr Dragica Chamovska, prof. dr Filip Kokalj

**Organizacioni odbor:**

mr Bogdan Vlahović (predsednik), Milan Stamatović, Dalibor Joknić, Nebojša Jakovljević, Nikica Ivić, Milomir Tucović, mr Zoran Pendić, dr Tatjana Šošćarić, dr Dušan Milojkov, dr Jelena Petrović, Zoran Nikolić, Milan Đorđević, dr Danijela Smiljanić, Aleksandar Jovanović, Mladen Bugarčić, Olivera Ćosović, MSc, Marijana Mihajlović i Olja Jovičić

**Glavni i odgovorni urednik:**

prof. dr Aleksandar Đukić, dipl. inž.

**Lektura i korektura:**

Olivera Ćosović, mast. filol.

**Tehnički urednik:**

Olja Jovičić, dipl. prav.

**Štampa:**

Akadska izdanja, Zemun

**Naslovna strana:**

Arahavi, Krf, Grčka

**Autor fotografije:**

Olja Jovičić

**ISBN:** 978-86-80067-59-9

**Godina izdavanja:** 2023.

**Tiraž:** 200 primeraka

Stavovi izneti u ovoj publikaciji ne odražavaju nužno stavove izdavača i članova Programskog odbora

**Organizator:**

**Savez inženjera i tehničara Srbije**

**Suorganizatori:**

**ITNMS - Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih  
mineralnih sirovina, Beograd**

**Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd**

**Prirodno-matematički fakultet – Departman za hemiju,  
biohemiju i zaštitu životne sredine, Novi Sad**

**Tehnološko-metalurški fakultet – Katedra za neogransku  
hemijsku tehnologiju, Beograd**

**Inženjerska akademija Srbije, Beograd**

**IPIN Institut za primjenjenu geologiju i vodoinženjering,  
Bijeljina**

**JKP „Vodovod“, Zlatibor**

**Uz podršku:**

**Inženjerske komore Srbije, Beograd**

**Pod pokroviteljstvom:**

**Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija  
Republike Srbije i**

**Opštine Čajetina**

**CIP - Каталогизација у публикацији  
Народна библиотека Србије, Београд**

**628.1/.3(082)**

**МЕЂУНАРОДНА конференција Водовод и  
канализација (44 ; 2023 ;  
Златибор)**

**Zbornik radova / 44. Međunarodna konferencija Vodovod i  
kanalizacija '23,**

**Zlatibor, 10 – 13. oktobar 2023. ; [organizator] Savez inženjera i  
tehničara Srbije**

**... [et al.] ; [glavni i odgovorni urednik Aleksandar Đukić]. -**

**Beograd : Savez**

**inženjera i tehničara Srbije, 2023 (Zemun : Akademska izdanja). - 305**

**str. : ilustr.**

**; 24 cm**

**Tiraž 200. - Napomene uz radove. - Bibliografija uz svaki rad. -  
Abstracts.**

**ISBN 978-86-80067-59-9**

**a) Водовод -- Зборници b) Канализација --**

**Зборници v) Отпадне воде --**

**Зборници g) Водозахвати -- Зборници**

**COBISS.SR-ID 126113545**

## ПРЕЧИШЋАВАЊЕ САНИТАРНО-ФЕКАЛНИХ ОТПАДНИХ ВОДА У ИЗДВОЈЕНИМ ИНЖЕЊЕРСКИМ ОБЈЕКТИМА

### PURIFICATION OF SANITARY-FECAL WASTEWATER AT DETACHED ENGINEERING FACILITIES

ВЛАДИМИР АДАМОВИЋ<sup>1</sup>, ТАТЈАНА ШОШТАРИЋ<sup>2</sup>,  
АЊА АНТАНАСКОВИЋ<sup>3</sup>, ЗОРИЦА ЛОПИЧИЋ<sup>4</sup>

**Резиме:** Проблем одлагања генерисаних санитарно-фекалних отпадних вода на јавним објектима који се због своје удаљености не могу прикључити на канализациону мрежу најчешће се решавао изградњом септичких јама. Највећи проблеми њиховог функционисања су појава непријатних мириса и потреба за њиховим честим пражњењем, што повећава оперативне трошкове. У последње време, септичке јаме се у овим објектима замењују системима за пречишћавање санитарно-фекалних отпадних вода, при чему се септичка јама преуређује у таложник (примарно пречишћавање), а као биолошки третман се користи као секундарно пречишћавање. У овом раду је приказана могућност адаптације постојећег система уз коришћење комбинованог система са активним муљем, на бази тзв. SBR технологије.

**Кључне речи:** септичка јама, SBR технологија, биолошки третман

**Abstract:** The problem of disposal of sanitary-fecal wastewater generated at public facilities, which cannot be connected to the sewerage system due to their distance, is solved often by building septic tanks. Their main issue beside unpleasant odors is their frequent emptying which increases operational costs. Lately, in these facilities septic tanks have been replaced with purification systems, whereby the septic tank is converted into a settling tank (primary treatment), and biological treatment is used as secondary treatment. In this paper the possibility of adaptation of the existing system, by using a combined system with activated sludge, based on the so-called SBR technology has been presented.

**Key Words:** septic tank, SBR technology, biological treatment

<sup>1</sup> Владимир Адамовић, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Франше Д'Епера 86, Београд

<sup>2</sup> Татјана Шоштарић, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Франше Д'Епера 86, Београд

<sup>3</sup> Ања Антанасковић, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Франше Д'Епера 86, Београд

<sup>4</sup> Зорица Лопичић, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Франше Д'Епера 86, Београд

## 1. Увод

Управљање санитарно-фекалним водама на објектима попут ресторана, одмаралишта, бензинских станица и сличних објеката, у случајевима када су удаљени од насељених места и када у близини не постоји изграђена канализациона мрежа, представља значајан изазов. Функционално решење које се најчешће примењује је пројектовање и изградња септичких јама. Њихова негативна страна је појава непријатних мириса и оперативни трошкови, који могу да буду високи услед потребе за честим пражњењем септичких јама. Власник таквог објекта у том случају мора да поседује уговор са овлашћеним оператером који има дозволу да преузимање и треман ове врсте отпада. Посебан проблем представља то што је током године, на оваквим објектима, различит интензитет посета у различитим деловима године, те је при пројектовању септичке јаме потребно узети у обзир периоде када је фреквенција посетилаца највећа [1].

Током времена јавила се потреба да се на неким локацијама изврши замена ових система, односно тражи се решење које ће бити ефикасније, а такође, и повољније за животну средину.

С тим у вези, у последње време се све чешће врши уградња нових постројења за пречишћавање санитарно-фекалних отпадних вода у којима би се ове отпадне воде обрадиле до нивоа техничке воде, а затим се одводила у оближње канале или у постојеће системе атмосферске канализације, у складу са важећом законском регулативом.

Основна концепција техничких решења која се примењују је израда постројења која ће служити за пречишћавање санитарно-фекалних отпадних вода, са местимичним модификацијама постојеће фекалне канализационе мреже. Отпадна вода која је ефлуент из постројења треба да буде пречишћена у довољној мери ради транспорта ка постојећој атмосферској канализацији, која углавном постоји уз објекте као што су хотели, ресторани, бензинске пумпе и сл. Постојећа атмосферска канализација се у овим случајевима користи као реципијент за пречишћене отпадне воде из новоизграђеног постројења.

Постојеће септичке јаме, при оваквим реконструкцијама, се најчешће модификују у примарне таложнике. Септичка јама се обично дели на два дела, извођењем армиранобетонског зида, кроз који се остављају рупе које служе за преливање отпадне воде из првог дела објекта у други. Први део се назива таложник и има функцију прихватања отпадних вода које пролазе кроз грубу решетку, док се други назива „буфер“ и има улогу прихвата целокупне количине отпадних вода која долази из таложника и њено прослеђивање у биореактор, помоћу мамут пумпе одговарајуће снаге [2].

Непосредно иза септичке јаме обично се изграђује армиранобетонско окно у које се смешта биореактор. У биореактору се врши биолошка разградња органских материја, која представља секундарно пречишћавање отпадне воде, које се одвија након примарног, односно физичко-хемијског пречишћавања.



Оваква постројења за пречишћавање отпадних вода спадају у категорију Г – инжењерски објекти [3].

У овом раду ће бити приказано пречишћавање помоћу комбинованог система са активним муљем, на бази тзв. SBR технологије (*Sequencing Batch Reactor*).

## 2. Теоретски аспекти пречишћавања санитарно-фекалних отпадних вода

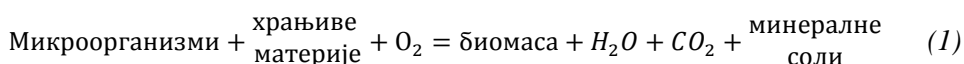
У постројењу за пречишћавање отпадних вода обавља се третман употребљених вода од посетиоца и запослених на објектима, које по свом саставу спадају у санитарно-фекалне отпадне воде.

С обзиром да састав санитарно-фекалних вода на улазу у постројење за третман углавном није познат, за прорачун се усвајају вредности о типичном саставу санитарно-фекалних вода из литературе [4]. Код ових вода се не очекују атипичне загађујуће материје. Због све оштријих захтева за очувањем животне средине неопходно је да пречишћена вода са постројења (ефлуент) буде таквог квалитета да не нарушава изворни квалитет воде водопријемника (реципијента), након мешања ових вода.

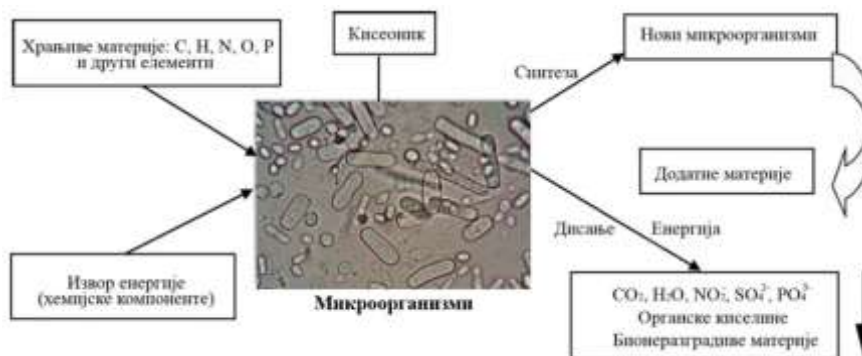
Уредбом о граничним вредностима емисије загађујућих материја у воде и роковима за њихово достизање (*Сл. гласник РС бр. 67/11, 48/12 и 1/16*) прописане су граничне вредности емисије за одређене групе или категорије загађујућих супстанци (материја), а случају санитарно-фекалних отпадних вода граничне вредности емисије су прописане за: технолошке отпадне воде пре њиховог испуштања у јавну канализацију, технолошке и друге отпадне воде које се непосредно испуштају у реципијент, воде које се после пречишћавања испуштају из система јавне канализације у реципијент и отпадне воде које се из септичких и сабирних јама испуштају у реципијент. Осим граничних вредности емисије, прописан је и најмањи проценат смањења у односу на оптерећење улазне отпадне воде за појединачне загађујуће материје.

Биолошка разградња органских материја представља секундарно пречишћавање отпадних вода и њој претходи физичко-хемијски третман. Биолошка разградња органских материја у отпадним водама може се извршити у присуству кисеоника (аеробни процеси), уз помоћ аеробних микроорганизама или у његовом одсуству (анаеробни процеси – анаеробна дигестија) уз помоћ анаеробних микроорганизама.

Аеробно биолошко пречишћавање отпадних вода може се описати на следећи начин [5]:



Аеробним процесима се производи вишак живе и неживе органске и неорганске материје који представља вишак муља. На слици 1 дат је шематски приказ принципа пречишћавања отпадних вода путем аеробних процеса.



Слика 1. Шематски приказ принципа аеробног пречишћавања отпадних вода

Аеробно биолошко пречишћавање се може остварити уз помоћ комбинованог система са активним муљем, на бази SBR технологије. „Sequencing“ указује на стално понављање делова процеса (пуњење, аерација, мешање), а „Batch Reactor“ указује да се пречишћавање отпадних вода обавља у шаржном биореактору.

У процесу са активним муљем разликују се две фазе. У првој фази у трајању од 20 до 40 минута, одиграва се агломерација честица у пахуљице муља. Таложењем овако образованих агрегата постиже се знатно смањење БПК<sub>5</sub> отпадне воде. У другој фази одиграва се процес асимилације органских материја од стране организама, што се испољава у повећаној биохемијској потрошњи раствореног кисеоника и стабилизацији органских материја. За одвијање друге фазе потребно је 2 до 4 часа аерације.

Активни муљ је водена средина у којој се, при константном мешању отпадне воде и муља, развијају бројни микроорганизми, при чему су највише заступљене хетерогене бактерије, фунги и протозое. Рад постројења са активним муљем зависи од способности микроорганизама да уклоне и утроше отпадне материје. За живот микроорганизама је потребна одређена количина отпадне воде која у себи садржи суспендоване колоидне и растворене органске и неорганске материје, и одређена количина ваздуха, односно кисеоника.

У SBR уређају се одвијају метаболичке реакције синтезе и респирације, при чему се формира микробиолошки флок који се храни органским материјама из отпадне воде. Поред микробиолошког флока у базенима се налазе и инертне и неразградиве материје.

Микроорганизми се углавном састоје од 70 - 90% органске и 10 - 30% неорганске материје. Њихово формирање и количина зависе од састава отпадне воде.

Флокуле активног муља састоје се из великог броја у више слојева распоређених бактерија које могу бити обавијене слојем слузи. Због своје велике површине и негативног наелектрисања, муљ има знатну апсорпциону моћ и садржи пуно везане воде до 80%.

Предности SBR уређаја у односу на друге типове уређаја за пречишћавање отпадне воде су: аутоматско прилагођавање процеса рада према улазном оптерећењу, висока ефикасност пречишћавања отпадних вода, ниски трошкови погона и одржавања, брза монтажа технолошке опреме, током рада уређаја није потребно додавати биоактиваторе.

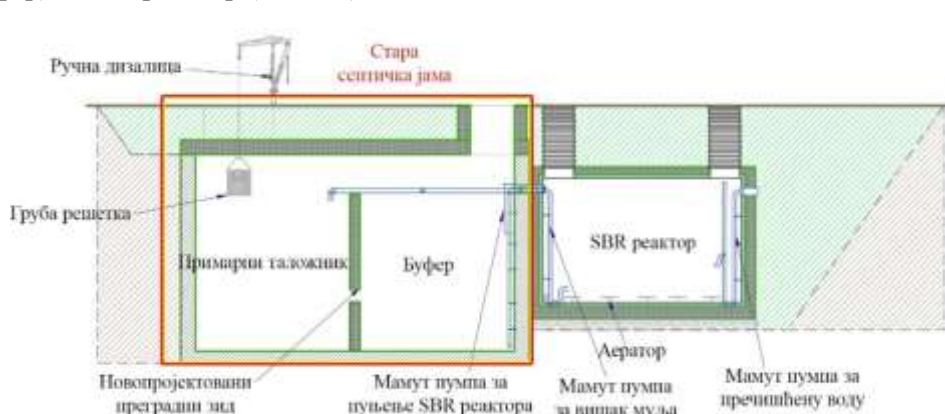
### 3. Опис процеса пречишћавања

Биолошки третман са активним муљем уз истовремену, симултану стабилизацију муља се заснива на принципима дубинске аерације са ваздухом и разградње растворених органских материја помоћу микроорганизама, који растворене органске материје користе као храну и на тај начин их редукују до захтеване концентрације.

Пре биолошког третмана потребно је извршити механички третман на грубој решетки, при чему се уклања кабасти и инертан материјал из отпадне воде у циљу заштите пумпи, вентила и арматуре од оштећења, запушавања и несметаног одвијања наредних фаза. Обично се користи груба решетка са дизалицом која се користи ради евакуације и периодичног чишћења садржаја решетки. Материјал који застане на решетки се предаје овлашћеном оператеру који га транспортује на санитарну депонију.

Пречишћавање санитарних отпадних вода према SBR систему је дисконтинуални начин пречишћавања, односно одвија се на принципу секвентног шаржног реактора [6].

Уређај је најчешће подељен у три функционална дела: део за прихват отпадне воде, део за ублажавање хидрауличких и органских оптерећења (буфер) и SBR реактор (слика 2).



Слика 2. Постројење за пречишћавање отпадних вода

Део за прихват отпадне воде назива се примарни таложник и служи за таложње честица у долазној отпадној води, али и као резервоар вишка активног муља који настаје током процеса пречишћавања. За изједначавање отпадне воде у односу на концентрације отпадних материја и као међупријемник

одређене запремине отпадне воде (шарже) служи друга комора, односно буфер зона. SBR реактор састоји се од резервоара и у којем се одвија аеробна биолошка разградња отпадних материја помоћу активног муља. Пуњење и пражњење резервоара се врши помоћу мамут пумпи. Запремина пуњења SBR реактора континуирано се подешава током рада према улазној количини отпадне воде како би се постигла оптимизација потрошње електричне енергије уређаја за пречишћавање отпадних вода. Управљачка јединица је програмирана за обављање циклуса пречишћавања воде у четири главне фазе: фазу пуњења, фазу пречишћавања, фазу таложња и фазу пражњења.

У фази пуњења се помоћу мамут пумпе отпадна вода из другог резервоара транспортује у SBR реактор. За време док траје пуњење у делу коморе са дифузорима односно аераторима процес аерације се не одвија. Фаза пуњења SBR реактора траје најчешће око 30 минута.

У фази пречишћавања односно аерације, одвија се процес биолошке оксидације органских материја из отпадне воде уз помоћ микроорганизама из активног муља. Продукт разградње су мање сложена органска једињења и друге мање сложене материје, као и новостворена биомаса која се већим делом мора уклонити из воде у процесу таложња. Ваздух за оксидацију се уноси преко дувалке и система цевног развода са дифузорима – аераторима, преко који се формирају ситни мехурићи који истовремено врше и мешање воде, а на тај начин и бољу дисперзију ваздуха у отпадној води. Трајање фазе аерације је најчешће око 120 минута.

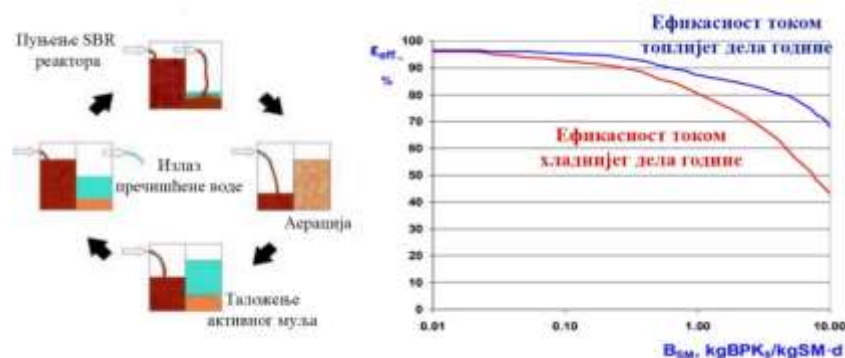
У фази таложња се ваздух више не уноси у систем и почиње таложње флокула активног муља, при чему долази до раслојавања активног муља и воде које је израженије са временом трајања таложња. Трајање ове фазе најчешће износи 60 минута.

У фази пражњења започиње одвођење пречишћене воде преко одводног система. Након што се одведе довољна количина пречишћене воде, што обично траје око 30 минута, врши се евакуација исталоженог активног муља, односно исталожених флокула са дна коморе са аераторима. Активни муљ се привремено складишти у на улазу у прву комору.

Наведене четири фазе чине један циклус пречишћавања санитарно-фекалне отпадне воде и у процесеку један циклус траје око 8 сати. Оптимална температура за већину микроорганизама је 20 - 30°C. Ниске температуре смањују активност микроорганизама, па према томе и ефекат пречишћавања. Зими долази до веће производње муља и ефлуент садржи већу количину суспендованих материја.

На слици 3 приказане су све 4 фазе циклуса пречишћавања воде у SBR уређају и ефикасност биоаерације у зависности од температуре. Црвена (доња) крива представља ефикасност током хладнијег дела године, када су температуре отпадне воде ниже од 11°C, а плава (горња) крива даје ефикасност уклањања БПК<sub>5</sub> током топлијег дела године, када је температуре воде изнад 13°C.

И у једном и у другом случају, може се закључити да ефикасност не би требало да падне испод 90% за задати опсег BSM (оптерећење масе муља,  $\text{kgBPK}_5/\text{kgSM}\cdot\text{d}$ ).



Слика 3. Фазе пречишћавања отпадних вода и ефикасност у зависности од  $T$

Обично су уређаји конструисани тако да уколико у уређај не улази довољна количина отпадне воде (мањи број корисника од предвиђеног), уређај прелази у штедљиви начин рада. Пречишћавање се и даље врши али се временски скраћује фаза аерације и тиме се смањује потрошња електричне енергије. Управљачка јединица, мерењем нивоа, константно прати ниво воде у примарном таложнику и одлучује да ли уређај треба наставити рад у штедљивом начину рада или се треба преbacити на нормални начин рада.

Пречишћена отпадна вода мора да задовољи критеријуме приказане у табели 1 [7].

Табела 1. Квалитет пречишћене санитарно-фекалне отпадне воде

Параметар квалитета пречишћене отпадне воде	Јединица	Вредност
Биохемијска потрошња кисеоника, $\text{BPK}_5$	$\text{mgO}_2/\text{l}$	25
Хемијска потрошња кисеоника, ХПК	$\text{mgO}_2/\text{l}$	125
Суспендоване материје	$\text{mg/l}$	35

#### 4. Закључак

Досадашњи начин уклањања санитарно-фекалних отпадних вода из јавних објеката као што су хотели, ресторани, бензинске станице и слично, постављањем септичних јама, је због нове законске регулативе у области заштите животне средине постао неодржив. Овај проблем се успешно решава савременим системима за пречишћавање фекалних отпадних вода, који примењују биолошки третман. Постројења на бази SBR реактора су се показала веома ефикасним за ове потребе. Њиховим коришћењем, параметри пречишћених отпадних вода задовољавају критеријуме за испуштање у атмосферску канализацију. Посебна погодност, у овом случају, је то што се постојеће септичке јаме могу искористити као таложници за примарно пречишћавање.

## 5. Захвалница

Рад је реализован уз финансијску подршку Министарства науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије (уговор бр. 451-03-47/2023-01/200023).

## 6. Литература

- [1] Adhikari, S. and Halden R. U, Opportunities and limits of wastewater-based epidemiology for tracking global health and attainment of UN sustainable development goals, *Environment International* 163, 107217, 2020.
- [2] Ali T, Kumari S, Ahmad S. K, Design of sewerage treatment plant based on SBR technology, *Applied Journal of Environmental Engineering Science* 7, 381-399, 2021.
- [3] Правилник о класификацији објеката, *Службени гласник РС*, бр. 22/15.
- [4] Penn R, Ward B. J, Strande L, Maurer M, Review of synthetic human faeces and faecal sludge for sanitation and wastewater research, *Water Research* 132, 222-240, 2018.
- [5] Rittmann B. E, Aerobic biological treatment, *Environmental Science Technology*, 21, 2, 128-136, 1987.
- [6] Alagha O, Allazem A, Bukhari A. A, Anil I, Mu'azu N. D, Suitability of SBR for wastewater treatment and reuse: Pilot-scale reactor operated in different anoxic conditions, *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17, 5, 1617, 2020.
- [7] Уредба о граничним вредностима емисије загађујућих материја у воде и роковима за њихово достизање, *Сл. гласник РС*, бр. 67/11, 48/12 и 1/16, прилог 1, Део III, Табела 2.