

Факултет инжењерских наука

Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Технологије и постројења за пречишћавање воде и ваздуха

Број индекса: 319/2011

Илић Д. Марија

**Секвенцијални шаржни реактор у третману отпадних вода
мастер рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Вања Шуштершич, ванр.проф. - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да да преглед третмана отпадних вода. На почетку дати преглед стања индустријских и комуналних отпадних вода, а затим описати главне карактеристике отпадних вода (физичке, хемијске и биолошке) и њихов утицај на околину. У даљем делу рада описати начине пречишћавања отпадних вода, посебно биолошко пречишћавање отпадних вода, помоћу реактора, конкретно SBR. Дати опис принципа рада SBR, хемијских процеса унутар SBR-а и прорачун SBR-а .

Препоручена литература:

[1] Марко Јовановић, Моделирање и симулација рада биолошког третмана отпадних вода, дипл. рад, Крагујевац, 2010. год

[2] Драган Цветковић, Вања Шуштершич, Упоредни преглед карактеристика ротационих биодискова и секвенцијалних шаржних реактора за третман комуналних отпадних вода, Водопривреда, бр. 44, стр. 258-260, 2012. год.

[3]http://www.premiertechaqua.com/en/download/files/25%20Promotional%20documents/00%20Products/05%20Decentralized%20and%20Municipal/25%20EcoprocessSBR_EN.pdf

Крагујевац, новембар 2013.

Ментор:

Др Вања Шуштершич, ванр. проф.

РЕЗИМЕ

У оквиру рада описане су главне карактеристике отпадних вода и њихов утицај на околину. Описани су процеси пречишћавања отпадних вода: механичко, хемијско и биолошко пречишћавање.

Посебно је нагласак стављен на биолошко пречишћавање уз помоћ уређаја за третман отпадних вода у децентрализованим системима, као што су реактори и то: MBR, UASB, ABR, SBR. Највећи део рада чини опис принципа рада SBR, хемијских процеса унутар SBR-а (нитрификација, денитрификација и уклањање фосфора), затим технологија процеса пречишћавања SBR системима.

У раду је дат и осврт на примере примене SBR у свету и у Србији, одржавање, као и економска анализа примене ових реактора. И на крају дат је математички модел прорачуна SBR-а.

Кључне речи: отпадне воде; секвенцијални шаржни реактор (SBR)

SUMMARY

This paper describes the main characteristics of the waste water and their impact on the environment. The processes of waste water treatment are described: mechanical, chemical and biological treatment.

In particular, emphasis is placed at biological treatment, using the device for waste water treatment in decentralized systems, such as reactors: MBR, UASB, ABR, SBR. Most of the paper is the description of the principles of SBR, chemical processes in SBR (nitrification, denitrification and phosphorus removal), and then, the treatment of SBR technology systems.

Examples of application of SBR in the world and in Serbia, maintenance, and economic analysis. Finally, a mathematical model of SBR.

Keywords: wastewater; sequencing batch reactor (SBR)

САДРЖАЈ

1. УВОД.....	1
2. ТЕОРИЈСКА РАЗМАТРАЊА.....	3
2.1. Дефиниција отпадних вода.....	3
2.2. Класификација отпадних вода	
2.2.1. <i>Комуналне отпадне воде.....</i>	<i>3</i>
2.2.2. <i>Индустријске отпадне воде.....</i>	<i>4</i>
2.3. Постојеће законске регулативе	6
2.4. Утицај отпадних вода на околину.....	6
3. КАРАКТЕРИСТИКЕ ОТПАДНИХ ВОДА.....	9
3.1 Физичке карактеристике	9
3.2 Хемијске карактеристике.....	10
3.2.1 <i>Биохемијска потрошња кисеоника (ВРК)</i>	<i>10</i>
3.2.2 <i>Хемијски потребна количина кисеоника (НРК)</i>	<i>11</i>
3.2.3. <i>Укупан органски угљеник (ТОС)</i>	<i>12</i>
3.2.4. <i>Протеини, угљени хидрати, уља и масти</i>	<i>12</i>
3.2.5. <i>Специфична органска једињења: површински активне материје, пестициди, феноли.....</i>	<i>13</i>
3.2.6. <i>Азот, фосфор, сумпор.....</i>	<i>13</i>
3.3 Биолошке карактеристике	
3.3.1. <i>Микробиолошка испитивања</i>	<i>13</i>
3.3.2. <i>Биолошка испитивања</i>	<i>13</i>
4. ПРЕЧИШЋАВАЊЕ ОТПАДНИХ ВОДА.....	14
4.1 Механичко пречишћавање отпадних вода.....	14
4.2. Хемијско пречишћавање отпадних вода.....	16
4.3 Биолошко пречишћавање отпадних вода.....	18
4.3.1. <i>Аеробни процес пречишћавања отпадних вода.....</i>	<i>19</i>
4.3.2 <i>Анаеробни процес пречишћења отпадних вода.....</i>	<i>21</i>
4.3.3 <i>Уређаји за третман отпадних вода у децентрализованим системима.....</i>	<i>21</i>
5. СЕКВЕНЦИЈАЛНИ ШАРЖНИ РЕАКТОР (SBR - SEQUENTING BATCH REACTOR).....	28
5.1. Редослед фаза SBR-а.....	31
5.2. Принцип рада шаржног реактора.....	34
5.3. Хемијски процеси унутар SBR-а.....	36
5.3.1. <i>Нитрификација и денитрификација.....</i>	<i>36</i>
5.3.2. <i>Уклањање фосфора.....</i>	<i>37</i>

5.4. Технологија процеса пречишћавања SBR системима.....	38
5.5. Дизајн SBR система.....	39
5.5.1. <i>SBR системи мањег капацитета.....</i>	<i>40</i>
5.5.2. <i>Ефекти пречишћавања у SBR-у.....</i>	<i>43</i>
5.6. Примена SBR у свету и код нас.....	45
5.6.1 <i>Примери примене SBR система у Србији.....</i>	<i>46</i>
5.7. Одржавање SBR-а.....	54
5.8. Економска анализа уградње SBR-а.....	55
5.9. Математички модел SBR-а.....	55
6. Закључак.....	74
Литература.....	75

1. УВОД

Загађења животне средине представља један од основних ограничавајућих фактора даљег развоја човечанства. У ХХИ веку животна средина постаје све више загађена, а површинске и подземне воде су, директно или индиректно угрожене услед свакодневног испуштања отпадних вода најразличитијег састава.

Упоредо са урбанизацијом и развојем индустрије, пољопривреде и сточарства расла је количина и степен загађености отпадних вода, а тиме и штета за водотокове и земљишта, нарушавајући екосистем. Поремећаји екосистема изазвани испуштањем непречишћених отпадних вода, временом су нарасли до таквих размера да се пречишћавање наметнуло као нужност. Развијене и богате земље трпе мање штете од неразвијених, сиромашних земаља (иако у односу на неразвијене имају далеко веће количине загађених отпадних вода) зато што у одређеној мери пречишћавају отпадне воде док неразвијене то не чине.

Највећи део употребљене воде враћа се у природу као отпадна вода. Пошто су количине свеже воде које стоје на располагању ограничене, а потребе за њом се повећавају, вода почиње у све већој мери да се поново користи, свесно или несвесно (испуштањем отпадне воде у исте водотокове из којих се узима вода). На тај начин квалитет свеже воде је све више повезан са квалитетом отпадне воде. Да би се заштитила изворишта свеже воде, отпадна вода се мора пречишћавати, односно морају се предузети мере да се вода у природу врати у приближно истом стању у којем је из ње позајмљена. У савременим насељима све се више јавља потреба за одвођењем и пречишћавањем све обилнијих индустријских и санитарних отпадних вода из стамбених и других објеката. Количина отпадне воде расте паралелно са порастом потрошње воде, а компликованији технолошки процеси стварају све теже и скупочије захтеве за третирање индустријских вода које некад могу садржавати и веома токсичне супстанце. Директно или индиректно ове супстанце могу да дођу до човека и да тренутно или кроз дужи временски период угрозе здравље.

За пречишћавање санитарних отпадних вода располаже се ефикасним и провереним методама, док се за пречишћавање индустријских отпадних вода најчешће захтева посебна студија и развијање појединачног технолошког процеса пречишћавања.

Индустријске отпадне воде уколико воде порекло од прехрамбене индустрије, њихов карактер је сличан санитарним отпадним водама, док отпадне воде хемијске, металуршке индустрије су оптерећене разним хемикалијама, текстилне индустрије најчешће бојама, а коксаре веома непријатним фенолом. Данас се проблем отпадних вода јавља у новијем светлу, у коме се тежиште са биолошке контаминације преноси на загађење хемијским и радиоактивним супстанцијама. Овим се компликује и начин пречишћавања.

Воде се могу користити и оптерећивати, а отпадне воде испуштати уз примену одговарајућег третмана, на начин и до нивоа који не представља опасност за природне процесе или за обнову квалитета и количине воде и који не умањује могућност њиховог

вишенаменског коришћења. Квалитет отпадне воде која се може испуштати регулише свака заједница одговарајућим стандардима.

Начело одговорности загађивача - правно или физичко лице које својим незаконитим или неисправним активностима доводи до загађења животне средине одговорно је у складу са законом Закон о заштити животне средине. Решавање савремених канализационих система лежи у организованом сакупљању и одвођењу отпадних вода, са обавезним пречишћавањем, као последњом, веома битном кариком у ланцу рационалног, техно-економски и научно потврђеног решавања предметне проблематике.

2. ТЕОРИЈСКА РАЗМАТРАЊА

Вода загађена на било који начин током употребе представља отпадну воду.

2.1. Дефиниција отпадних вода

Отпадне воде настају од чисте воде употребом у насељима и индустрији или отицањем са површине земљишта. Отпадне воде садрже минералне и органске материје у раствору, у колоидном облику и у облику суспензија, као и живе организме. По испуштању у природи ове отпадне воде битно мењају природну околину.



Слика 1. Изглед испуштања отпадне воде

2.2. Класификација отпадних вода

Својства отпадних вода зависе од порекла, па се према томе могу поделити на :

- комуналне отпадне воде,
- индустријске отпадне воде,
- отпадне воде агро-комплекса.

2.2.1. Комуналне отпадне воде

Већи део комуналних отпадних вода чине употребљене воде из домаћинства. За њих је карактеристичан константан састав у једном региону у дужем периоду, као резултат животног стандарда и начина живљења становништва. Њихова количина и оптерећење загађујућим материјама може се изразити по еквивалентном становнику (ЕС). Главна карактеристична особина тих вода је извесан садржај неорганских и органских материја. Део органских материја налази се у суспендованом стању. У свим отпадним водама налазе се

микроорганизми. Најопаснији по људско здравље су патогени микроорганизми. Најважнија особина комуналних отпадних вода је биолошка разградљивост. Оне се деле на:

- свеже отпадне воде, у којима биолошка разградња још није узнапредовала,
- одстајале отпадне воде, које не садрже кисеоник, јер је потроше за биолошку разградњу органске материје,
- труле септичке воде, у којима се биолошка разградња одвија анаеробно, а успостављена је равнотежа између разграђивача и органске материје.



Слика 2. Испуштање комуналне воде

2.2.2. Индустијске отпадне воде

Индустијске отпадне воде настају употребом воде у технолошким процесима и у производњи енергије. Састав индустијских отпадних вода битно се разликује од састава комуналних отпадних вода и зависи од примењеног технолошког поступка. Оне су данас, највећи загађивачи водених ресурса. Индустијске отпадне воде потичу из производних процеса и обухватају: процесне, расхладне, санитарне и отпадне воде од чишћења опреме. Специфичне су за сваку индустијску грану. Вода која је употребљена као расхладно средство, има повишену температуру и представља посебан тип. Количина индустијских отпадних вода варира у ширем опсегу, како у току дана, тако и у дужем временском периоду. То је последица различитог интензитета рада индустрије и одређене динамике настајања отпадних вода унутар самог производног поступка.

Индустијске отпадне воде могу садржавати киселине, базе, тешке метале, минералне соли, минерална уља, феноле, радиоактивне материје, патогене микроорганизме, угљоводонике, ароматична органска једињења, као и синтетичке хемијске производе, што их не садрже природне воде. Фактори као што су токсичне материје, висока или ниска рН

вредност, висока температура, могу да проузрокују веће или мање поремећаје у раду постројења, нарочито у фази биолошке обраде, која је обавезна технолошка фаза градских постројења за пречишћавање. [1]

Индустријске отпадне воде могу се разврстати у две групе:

- биолошки разградљиве или компатибилне, које се смеју мешати са комуналним отпадним водама,
- биолошки неразградиве или инкомпатибилне, које се не смеју мешати са комуналним отпадним водама, без хемијског предтретмана.



Слика 3. Индустијска отпадна вода

Поред напред истакнутог индустијске отпадне воде, често садрже разне материје штетне и опасне за објекте системе канализацију као и за особље које ради на њима. То су:

- токсични јони, који негативно утичу на биолошку разградњу органских материја,
- киселине и базе, које изазивају корозију, успоравају биолошке процесе, проузрокују мирис и интензивну боју,
- запаљиве материје,
- масноће, које зачепљују отворе и водове,
- отровне гасове, који су опасни за особље на систему,
- детерcente који изазивају пену код аерације,
- влакнасте материје, које зачепљују отворе, ремете рад пумпи,
- каменчиће и песак, који се таложе у објектима, а изазивају абразију пумпи,
- феноле и остале токсичне материје. [1]



Слика 4. Испуштање индустијске воде



Слика 5. Пливајући отпад на нашим акумулацијама

2.3. Постојеће законске регулативе

У протеклом периоду у Србији је примењиван тип граничних вредности за квалитет воде водопријемника.

Управљање квалитетом вода, заснива се на следећим законским документима:

- Правилник о хигијенској исправности воде ("Службени гласник СРЈ" 42/98 и 44/99) – 133 индикатора – 384 норме
- Закон о водама (Сл. Гласник РС бр. 46/91, 31.07.1991, стр.1827-1847)
- Правилник о опасним материјама које се не смеју уносити у воде (Сл. лист СФРЈ бр. 3/66, 19.01.1966, стр. 61-63)
- Директиве на нивоу Европске уније (COUNCIL DIRECTIVE 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption) у којима се јасно дефинишу правила и понашање грађана како би се заштитила вода без које нема живота на земљи. [2]

2.4. Утицај отпадних вода на околину

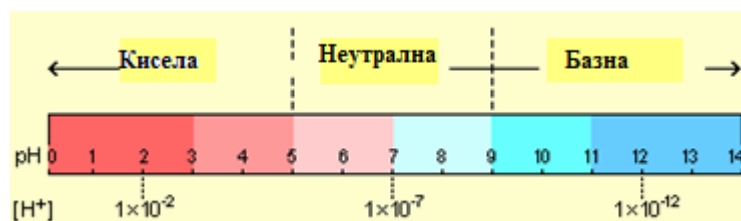
Какав ће утицај отпадне воде имати на околину, зависи од својства отпадних вода и количине отпадних материја. Утицај отпадних материја на околину је веома различит. Материје, као што су хранљиве соли, у малим количинама делују повољно, док веће

концентрације могу узроковати поремећаје еколошког система. У отпадним водама се често сусреће присуство тешких метала (Hg, Pb, Cr, Cd). Испуштањем у околину ове материје и у малим концентрацијама могу деловати отровно на живи свет. Све отпадне воде садрже микроорганизме.

Микроорганизми (разлагачи), биолошки разграђују органске материје, троше растворени кисеоник, па се може појавити мањак кисеоника, тј., анаеробно стање. Они разграђују органску материју до неорганске и тако обављају део поступка труљења материје. Осим, микроорганизама фекалног порекла има и патогених које могу бити узрочници тифуса, туберкулозе, колере, хепатитиса. Ове заразне болести могу се пренети купањем у нечистој води (због додира са кожом или због гутања такве воде) или конзумирањем производа из воде. Отпадне воде се канализационим системима одводе из насеља и испуштају у реке, канале, језера, мора или земљишту. Извори загађења су различити и тешко препознатљиви: инфилтрација људских и животињских отпадних материја, продирање вештачких ђубрива, хербицида, инсектицида у подземне воде, продирање воде из неуређених депонија смећа, испуштање отпадне воде из индустрије. Дејство отпадних вода заснива се на њиховом садржају хранљивих (фосфор, азот) и токсичних компоненти. Површинске воде су угрожене и топлотним оптерећењем (смањује се количина кисеоника у води).

Опасне загађујуће компоненте у водама су: ароматични угљоводоници, пестициди, детерџенти, жива, флуор, једињења хрома и др. Топлотно оптереће водотока потиче у потпуности од енергетских процеса (термоелектране – највише, а рафинерије нафте, хемијска индустрија и црна металургија у мањој мери) и укупног енергетског биланса Сунчевог система. Карактеристика вода је процес самопречишћавања, а то је процес природне регенерације, односно процес успостављања претходног стања у водотоку.

Самопречишћавање вода обухвата физичке и хемијске процесе који се одвијају под утицајем организама који разлажу органске компоненте. Законске норме садрже одговорности, поступке за добијање одобрења, обавезе контроле, граничне вредности и поступке одређивања концентрације загађујућих компонената у отпадним водама. Отпадне воде представљају опасност због свог физичко-хемијског, бактериолошког и токсичног садржаја. Показатељи штетног дејства компонената у отпадној води су компоненте које води дају боју, непријатан укус и мирис, опште-санитарни (за компоненте које имају способност сампоречишћавања) и санитарно-токсични (компоненте које имају токсично дејство на живи свет у води). Због ферментационих процеса, индустријске отпадне воде имају киселу реакцију $pH < 7$ док комуналне отпадне воде имају базну реакцију $pH > 7$ (слика 6). Због тога је понекад могуће пуштати индустријске отпадне воде у канализациону мрежу. [1]



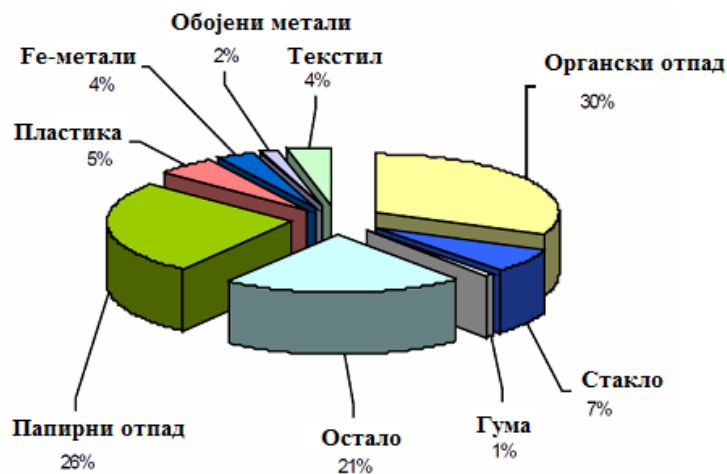
$$pH \text{ vrednost, } pH = -\log_{10}[H^+]$$

Слика 6. Отпадне воде имају различиту pH – вредност [1]



Слика 7. Скала рН вредности неких раствора

Кључни утицај на самопречишћавање вода имају аеробне бактерије које разграђују органске компоненте уз потрошњу кисеоника. Њихова активност зависи од: температуре воде, присуства токсичних компоненти у води, присуства кисеоника, од процеса фотосинтезе, од турбуленције струјања воде и сл.



Слика 8. Врсте отпада, које се увек могу наћи у отпадним водама [1]

3. КАРАКТЕРИСТИКЕ ОТПАДНИХ ВОДА

Уобичајена подела карактеристика отпадних вода је на физичке, хемијске и биолошке. Све отпадне воде, а поготово индустријске, веома се разликују по својим карактеристикама, па је било каква генерализација тешко изводљива.

3.1 Физичке карактеристике

Најзначајније физичке карактеристике отпадних вода су: садржај суве материје, боја, мирис и температура воде. Поред њих значајни су и параметри као што су: мутноћа, укус, електропроводљивост и садржај флотирајућих материја.

Сува материја

Садржај суве материје представља најважнију физичку карактеристику отпадних вода и дефинише се као остатак након сушења узорка на температури 103 - 105°C. [3]

Боја

На основу боје може се проценити стање отпадне воде. Свеже отпадне воде су обично сиве боје, док код одлежаних отпадних вода након потрошње раствореног кисеоника деловањем аеробних микроорганизама и након настанка анаеробних услова, боја прелази у црну. [3]

Мирис

Мирис отпадне воде потиче од гасова који се јављају у процесу распада органске материје. Тако неке индустријске отпадне воде имају мирис који је карактеристичан за технолошки процес од кога потичу. [3]

Температура

Већина акватичних организама су поиклотермни (хладнокрвни) што значи да немају способност терморегулације као сисари. Због тога температура има доминантан утицај на биолошку активност и раст акватичних организама. Са порастом температуре воде, расте и биолошка активност акватичних организама. Температура је значајан фактор који утиче на хемијске реакције воде. Брзина хемијских реакција, према закону о дејству маса, по правилу расте са порастом температуре што се одражава на биолошку активност акватичних организама. Најзначајнији пример утицаја температуре на хемијске реакције воде је садржај раствореног кисеоника који са порастом температуре воде опада. [3]

3.2 Хемијске карактеристике

Постоји низ хемијских карактеристика отпадне воде, а најбитнија карактеристика је садржај органске материје. У зависности од порекла отпадне воде, најважнија може да буде и нека друга хемијска карактеристика као што су неки тешки метали, поједина токсична органска једињења, површински активне материје, итд.

Органске материје

Најчешће се, као органска једињења, у отпадним водама појављују:

- протеини,
- угљоводиници,
- масти, липиди,
- површински активне материје природног и синтетског порекла,
- феноли,
- пестициди, хербициди,
- хлоровани угљоводонци и угљоводонци са азотом

Показатељи садржаја органске материје у отпадној води могу бити:

- биохемијска потрошња кисеоника (ВРК),
- хемијска потрошња кисеоника (НРК),
- укупни органски угљеник (ТОС).

3.2.1 Биохемијска потрошња кисеоника (ВРК)

ВРК карактерише биолошку активност отпадних вода и представља главни показатељ загађености отпадних вода. Поједине компоненте не оксидишу до CO_2 при биолошкој реакцији, па је потребна мања маса кисеоника у односу на вредност одређену стехиометријским прорачунима величине НРК.

Присутност биолошки неразградивих материја у отпадној води манифестује се већом вредношћу НРК у односу на ВРК. У биолошки неразградиве органске материје спадају: целулоза, угљена прашина, лигнин, танин и већина од низа синтетичких органских једињења. Однос НРК/ВРК₅ карактеристика је за поједине отпадне воде, и у зависности од састава може бити различит и утврђује се лабораторијским поступцима. Степен загађености воде органским једињењима дефинисан је количином кисеоника који је потребан за оксидацију коју врше аеробни микроорганизми. Та количина кисеоника назива се биохемијска потрошња кисеоника (ВРК).

Лабораторијски поступак одређивања ВРК састоји се у дефинисању биохемијске потрошње O_2 за разградњу органских компонената у отпадним водама помоћу хетеротрофних микроорганизама (у тами и на 20°C) у датом временском периоду. За испитивања се користи прилагођена бактеријска основа. Најчешће се одређује ВРК₅ који

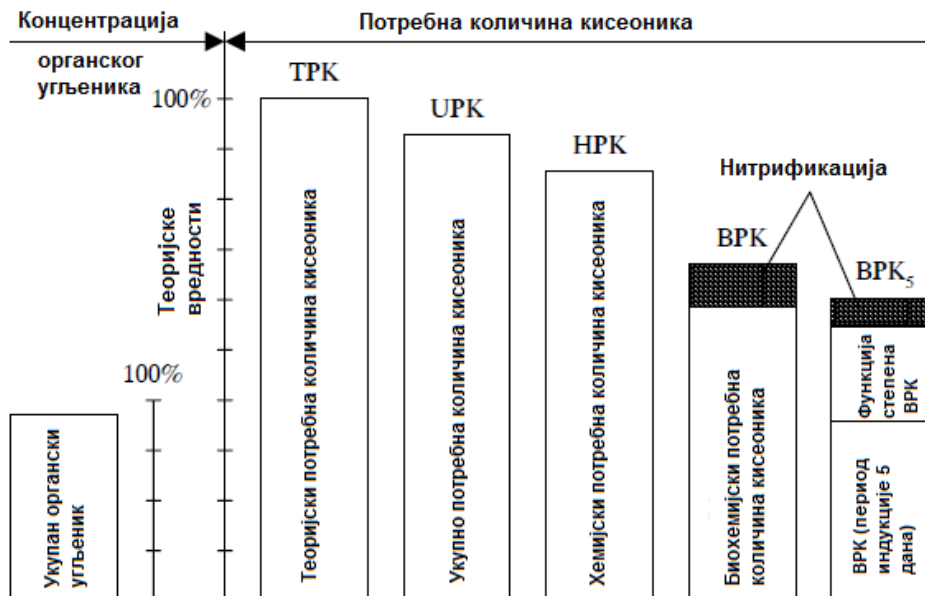
показује потрошњу кисеоника у првих пет дана. Вредност BPK_5 износи приближно 70-80% од ВРК. При одређивању ВРК неопходно је знати потрошњу кисеоника за трансформацију угљеника и азота. Обично у отпадним водама постоје организми који троше O_2 за трансформацију NH_3 и NO_3 (реакција нитрификације). ВРК се изражава у mg/l. [3]

Табела 1. Вредности ВРК за неке непречишћене отпадне воде [3]

Отпадна вода	ВРК, mg/l
Из домаћинства	350
Сулфитна лужина из производње папира	20000-45000
Из производње пива:	
-после издвајања остатка јечма	15000
-после издвајања остатка хмеља	7430
-од прање боца	550
Џибра из производње алкохолних пића	10000-25000
Џибра из производње етанола	10000-25000
Из производње квасца	3000-14000
Из производње пеницилина:	
-влажан мицелијум	4000-40000
-филтрат	2150-10000
-после испирања	210-13800
Из производње стрептомицина	2450-5900

3.2.2 Хемијски потребна количина кисеоника (НРК)

Хемијски потребна количина кисеоника (НРК) и укупно потребна количина кисеоника (УРК) су такође показатељи концентрације органских компонената (слика 9). НРК је хемијски потребна количина кисеоника за оксидацију органских компонената и неорганских соли, и представља показатељ загађености отпадних вода. НРК се најчешће изражава потрошњом O_2 у mg/l. Најбољи показатељ концентрације органских компонената је теоријска вредност НРК, која одговара количини кисеоника потребној за оксидацију органског угљеника. Одређује се на основу стехиометријских једначина реакција оксидације. НРК карактерише оксидација компонената само у CO_2 , H_2O и NH_3 . [3]



Слика 9. Приказ метода мерења концентрације органских компонената у отпадним водама [3]

3.2.3. Укупан органски угљеник (ТОС)

Укупан органски угљеник је мера садржаја органски везаног угљеника у отпадној води. Одређује се мерењем количине CO_2 насталог оксидацијом органског угљеника. Пошто одређивање укупног органског угљеника не зависи од степена оксидисаности органских материја, то се њиме не обухватају други органски везани елементи, азот и водоник на пример, као и нека неорганска једињења која реагују приликом одређивања потрошње кисеоника мереног преко ВРК и НРК. То значи да је ТОС бољи показатељ садржаја органских материја у отпадној води од ВРК и НРК, али како ТОС не даје исту врсту информација то се њиме не замењује одређивање ВРК и НРК. Међутим, уколико се за поједине отпадне воде могу утврдити односи ТОС према ВРК и НРК тада се ТОС може користити за процену ВРК и НРК тих вода. [3]

3.2.4. Протеини, угљени хидрати, уља и масти

Поред познавања укупног садржаја органских материја у отпадној води од значаја може бити и да се сазна удео неких од најважнијих група органских једињења: протеина, угљених хидрата, уља и масти. Тако су на пример, протеини најважнији извор азота у водотоковима, а у процесу њихове разградње често настају веома непријатни мириси, угљене хидрате често карактерише веома различита биоразградљивост, уља и масти су обично тешко биоразградљиви, а познато је да уља стварају танак слој на површини водотока чиме, отежавајући унос кисеоника, угрожава живи свет у води. [3]

3.2.5. Специфична органска једињења: површински активне материје, пестициди, феноли

У зависности од порекла, отпадне воде могу да садрже веома различита органска једињења као што су површински активне материје, пестициди и феноли. Површински активне материје изазивају пењење на површини водотока отежавајући унос кисеоника. Пестициди и хербициди доспевају доспевају у воду спирањем са пољопривредних површина, веома су токсични за живи свет у води, а токсични су и за радну микрофлору биолошких поступака пречишћавања. И феноли веома негативно утичу на употребну вредност воде, поготово ако се таква вода хлорише јер настају хлорфеноли који су веома непријатног мириса. [3]

3.2.6. Азот, фосфор, сумпор

Азот и фосфор спадају у најважније биогене елементе и њихово уношење са отпадним водама изазива прекомеран раст воденог биља и такозвану еутрофикацију (забаривање) водотока. Азот се налази у различитим облицима у отпадним водама (органски, амонијачни, нитритни и нитратни азот) или се приликом самопречишћавања водотокова односно биолошког пречишћавања отпадних вода преводи из једног облика у други. Сумпор се из сулфата којих има веома често у већим концентрацијама у појединим отпадним водама, редукује у анеробним условима до водониксулфида, H_2S , који је изразито непријатног мириса и веома токсичан, а настали H_2S се може оксидовати до веома корозивне сумпорне киселине. [3]

3.3 Биолошке карактеристике

За утврђивање квалитета отпадних вода пре и после пречишћавања и за успешан рад самог биолошког поступка пречишћавања морају се знати и одређене биолошке карактеристике. [3]

3.3.1. Микробиолошка испитивања

Да би се утврдио санитарни квалитет воде, мора се знати који микроорганизми и у ком броју се налазе у води. У првом реду се то односи на патогене микроорганизм, изазиваче тешких заразних болести на чије присуство су индикатори колиформне бактерије. [3]

3.3.2. Биолошка испитивања

Биолошка испитивања се користе у првом реду да би се утврдила токсичност отпадне воде на биосвет водотока, јер се токсичност не може оценити само на основу физичких и хемијских карактеристика отпадне воде. На основу биолошких испитивања се утврђује и учинак појединих поступака пречишћавања. [3]

4. ПРЕЧИШЋАВАЊЕ ОТПАДНИХ ВОДА

Процеси пречишћавања отпадних вода, може се поделити на три основне групе:

- Механичко пречишћавање (таложење, филтрација,...),
- Хемијско пречишћавање (флокулација, коагулација,...) и
- Биолошко пречишћавање (таложници за песак, коришћење муља,...)

4.1 Механичко пречишћавање отпадних вода

Механичким процесима се, из отпадних вода, одстрањују првенствено груби и пливајући садржаји. То је углавном песак, папир, кесе, комади текстила, амбалаже, воћа, поврћа, масти и уља и друге материје. За одстрањивање таквог садржаја, користе се грубе и fine решетке, сита, груби таложници-за песак (песколови), хватачи масти/уља (мастолови) и fine таложници (примарни или претходни и секундарни или накнадни) за издвајање органских и неорганских таложљивих суспендованих материја или активног муља.

Механичко пречишћавање се примењује за:

- претходно пречишћавање отпадних вода на постројењу за пречишћавање,
- делимично пречишћавање кишнице (пре испуштања у реципијент), и
- претходно пречишћавање неких индустријских отпадних вода пре испуштања у градску канализацију (понекад у комбинацији са хемијским, физичко-хемијским или биолшким поступцима).

Таложење

Таложење припада групи седиментационих процеса – процеса сепарације чврсте и течне фазе под утицајем гравитације. Таложење је једна од најчешће коришћених операција у поступцима обраде отпадних вода. Уређаји у којима се одиграва операција таложења називају се таложници.

Области примене таложења су:

- уклањање песка и зрнастог материјала,
- уклањање суспендованих материјала у примарним таложницима,
- уклањање биомасе, настале током биолошке обраде отпадних вода, у секундарним таложницима,
- уклањање хемијског талогa насталог процесом коагулације,
- концентрисање отпадног муља у згушњивачима.

Примарни циљ примене операције таложења је добијање бистрог ефлуента, са што нижим садржајем суспендованих материја. У том случају је такође значајно и да добијени муљ буде што концентрованији. [5]



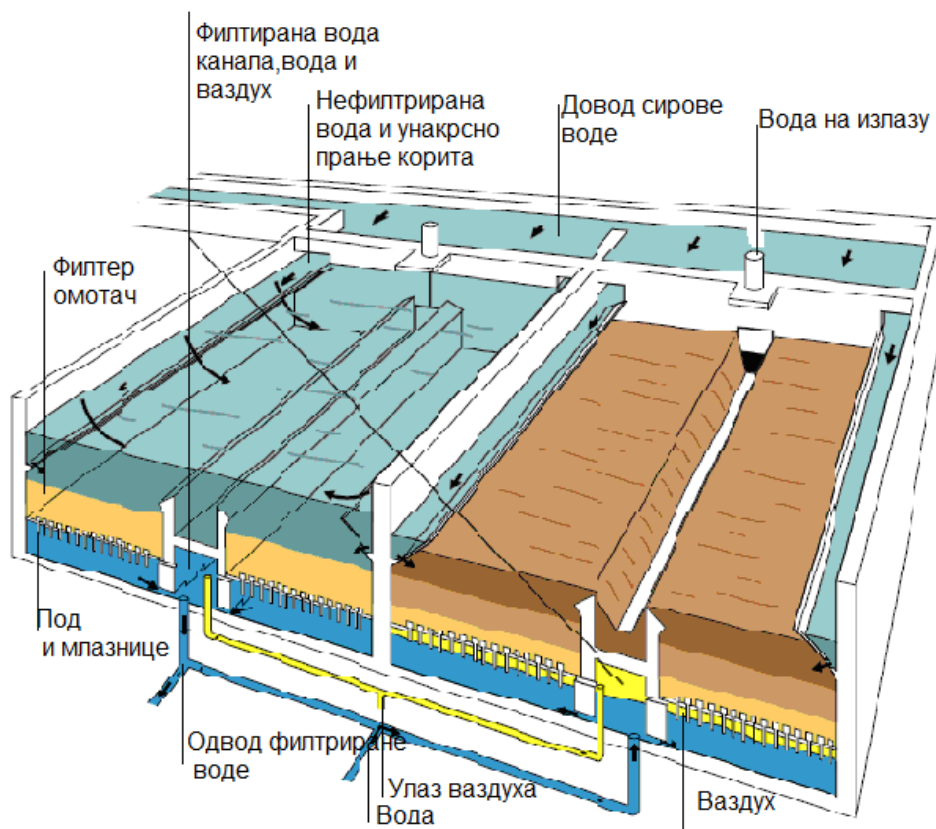
Слика 10. Таложници правоугаоног и кружног облика

Филтрација

Филтрација воде је једна од најважнијих врста пречишћавања воде. Механичке филтере делимо у две главне групе:

- површинске филтере:
 - сита и
 - мембране.
- дубинске филтере.

Површински филтери су филтери код којих постоји дводимензионални предмет (тј. има занемарљиву дебљину), који има довољно велике рупице да би пропустио воду, али не и нечистоће. Вода треба проћи само ту "баријеру" да би се сматрала филтрираном. У најједноставнијем случају, филтер за воду може бити сито, тј. мрежа танких нити неког материјала које су тако ткане да су рупице између њих јако мале. Кад воду пропустимо кроз такво сито - механичке нечистоће које су веће од отвора сита неће проћи и задржаће се.



Слика 11. Површински филтер

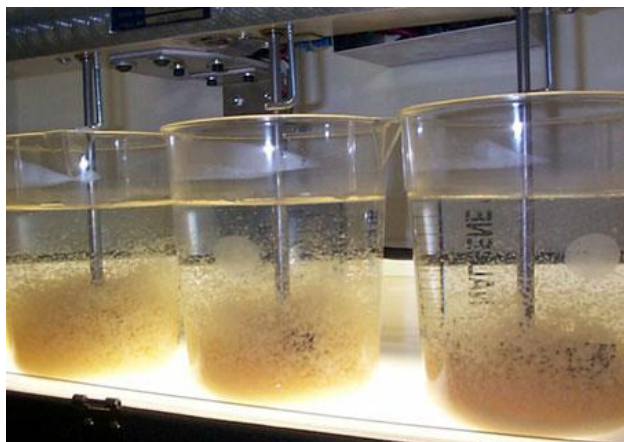
Дубински филтери, за разлику од површинских су материјали који имају своју дебљину/дубину кроз коју вода постепено протиче. Док протиче - механичке нечистоће се задржавају. [4]

4.2. Хемијско пречишћавање отпадних вода

Физичко-хемијским методама и процесима се из отпадне воде уклањају полутанти који се не могу уклонити само физичким нити биолошким процесима као што су fine суспендоване материје, тешко разградљиви и токсични органски спојеви, нутријенти (нитроген и фосфор), тешки метали и неорганске соли.

Уклањање великог дела ових нечистоћа при обради вода решава се седиментацијом, међутим како су многе нечистоће мале да би се саме могле успешно уклонити гравитационим таложењем, повезивање таквих честица у веће важно је за успешну седиментацију и уклањање из воде. Тај процес се зове коагулација. Под одређеним условима, активни муљ може чак флокулисати органске материје у отпадним водама, временски знатно краће него уз биолошки посредну оксидацију.

Отпадне воде могу садржати неорганске и органске колоидне материје (суспензије) које се због њихове стабилности таложе веома споро. Због истоимених електростатичких набоја колоиди се међусобно одбијају и остају распршени у води. Додатком у воду хемијских супстанци могуће је неутралисати електростатичке силе колоида те омогућити коагулацију честица и стварање већих пахуљица које се онда могу издвојити из течности таложењем, филтрацијом или флотацијом.



Слика 12. Коагулација

Коагулација се дефинише као додатак хемикалија у колоидну дисперзију чиме се врши дестабилизација колоидних честица слабљењем сила које држе честице у суспензији. Коагулација укључује разелектрисање честица и формирање комплекса хидроксида у виду крупнијих флокула које се брзо таложе, док се флокулација односи на дестабилизацију адсорпцијом великих органских полимера и каснијим стварањем честица–полимер–честица мостова. [6]



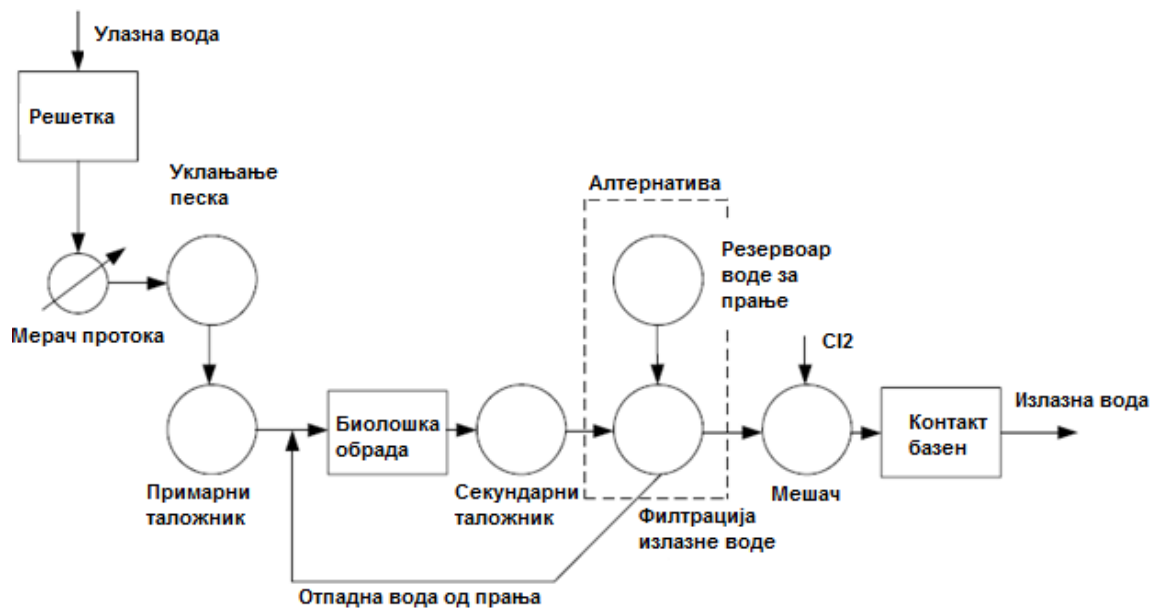
Слика 13. Процес коагулације и флокулације



Слика 14. Флокулација

4.3 Биолошко пречишћавање отпадних вода

Биолошким пречишћавањем је могуће из отпадне воде уклонити највећи део органског загађења, али је није могуће потпуно пречистити. У систему пречишћавања отпадних вода биолошка обрада одвија се као секундарно пречишћавање.



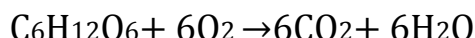
Слика 15. Типична технолошка шема биолошке обраде градских отпадних вода

Биолошко пречишћавање се примењује за:
- уклањање органских материја;

- уклањање азота помоћу поступка нитрификације и денитрификације;
- разградња примарног муља из процеса примарне обраде отпадних вода;
- разградња секундарног муља из процеса биолошке обраде отпадних вода помоћу поступка стабилизације муљева или дигестије.

Биолошки процеси пречишћавања вода могу се одвијати као аеробни и анаеробни, уз помоћ аеробних или анаеробних микроорганизама. Аеробни процеси се користе за обраду вода са малом и средњом концентрацијом органских материја, а анаеробни за воде са великим органским оптерећењем.

Аеробни



Анаеробни



Аеробни процеси су далеко више заступљени код обраде отпадних вода. Они се могу одвијати на два начина:

- са суспендованом микрофлором (са активним муљем), и
- са имобилисаном микрофлором на инертном носачу (биолошка филтрација).

Аеробни поступци са суспендованом микрофлором деле се на :

- поступке са активним муљем у биоаерационим базенима,
- поступке у аерисаним лагунама (биолошким лагунама), и
- поступке у аеробним (плитким) језерима (биолошким вештачким језерима).

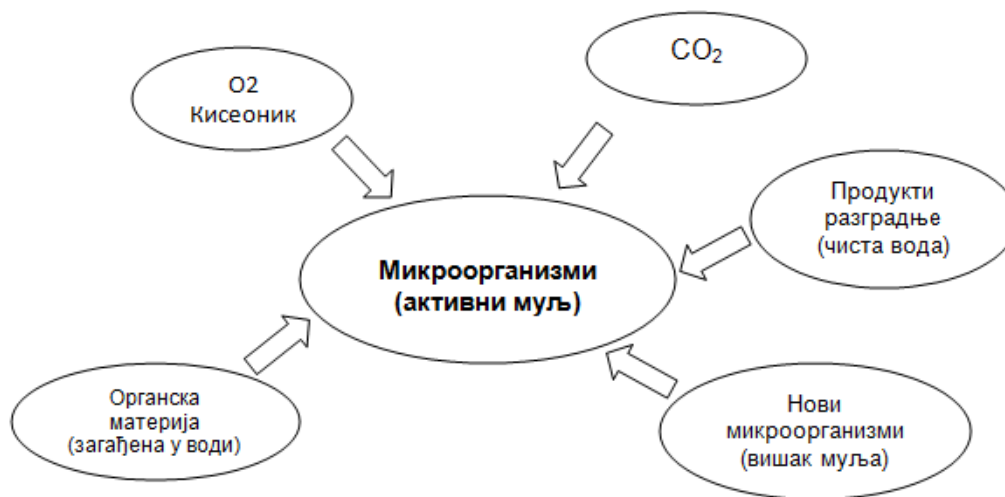
Поступци са суспендованом микрофлором за обраду великих количина слабо и средње оптерећених отпадних вода, односно поступци са активним муљем који се одвијају у биоаерационим базенима су највише у примени. Код аеробног биолошког пречишћавања потребно је обезбедити довољну количину кисеоника (остварити велику површину контакта вода – ваздух). Лагуне и плитки базени имају велику површину, чиме је обезбеђено уношење кисеоника. У базенима са активним муљем уношење кисеоника врши се удувавањем ваздуха или мешањем помоћу механичких аератора, чиме се повећава површина контакта.

4.3.1. Аеробни процес пречишћавања отпадних вода

Процес са активним муљем

Процес са активним муљем представља најраспрострањенији биолошки поступак за пречишћавање отпадних вода. Процес са активним муљем спада у аеробне процесе биолошког пречишћавања отпадних вода јер се одвија помоћу аеробне микробиолошке популације. Микроорганизми, углавном бактерије, протозое и метозое налазе се на пахуљицама муља у базену за аерацију, где се уз помоћ кисеоника у процесу метаболизма

микроорганизама обезбеђује разградња супстрата (органског загађења). У основи микроорганизми оксидирају растворене и суспендоване органске материје у угљендиоксид и воду у присуству кисеоника. Део органских материја се синтетише у нове ћелије или се користи за раст постојећих ћелија, а остатак се састоји од отпада и вишка муља (слика 16).



Слика 16. Принцип биолошког поступка са применом активног муља за обраду отпадних вода

Технолошки процес укључује примарни третман отпадне воде. Отпадне воде се аеришу у биоаерационом базену стварајући услове погодне за интензивни процес биоразградње (редукција садржаја органских материја око 95%). Након аерације, следи таложeње где се одваја биомаса – микробиолошки муљ. (слика 17).



Слика 17. Базен за аерацију

У поступку таложења пречишћена вода прелива преко рубова секундарних таложника (слика 18), док исталожени муљ одлази на даљу обраду. Део муља враћа се у аерациони базен, како би микроорганизми наставили да се размножавају (иако би се муљ створио и размножавањем микроорганизама који су већ присутни у отпадној води, али се рецикулацијом муља процес убрзава).



Слика 18. Секундарни таложник

4.3.2 Анаеробни процес пречишћења отпадних вода

Анаеробни процес пречишћења отпадних вода се развио из поступка анаеробне биолошке стабилизације муљева насталих током пречишћења отпадних вода. Основна карактеристика анаеробног у односу на аеробни поступак је да подноси већа органска оптерећења и да је у стању да пречишћава отпадне воде са много већом концентрацијом загађења. Из тих разлога се анаеробни процес користи у биолошким пречишћавањима јако загађених, најчешће индустријских отпадних вода. Процес анаеробног пречишћавања заснован је на метанском врењу органског загађења отпадних вода, где се органска материја преводи у смешу гасова у којој су основне компоненте метан и угљендиоксид.

Најраспрострањенији и једини начин анаеробне прераде отпадних вода је анаеробна дигестија. По дефиницији анаеробна дигестија је употреба микроорганизама у одсуству кисеоника за стабилизацију органских материја превођењем у метан и неорганске продукте, укључујући угљендиоксид. Анаеробна дигестија је поступак који се користи за третман отпадних вода из индустријске, пољопривредне производње и градова.

4.3.3 Уређаји за третман отпадних вода у децентрализованим системима

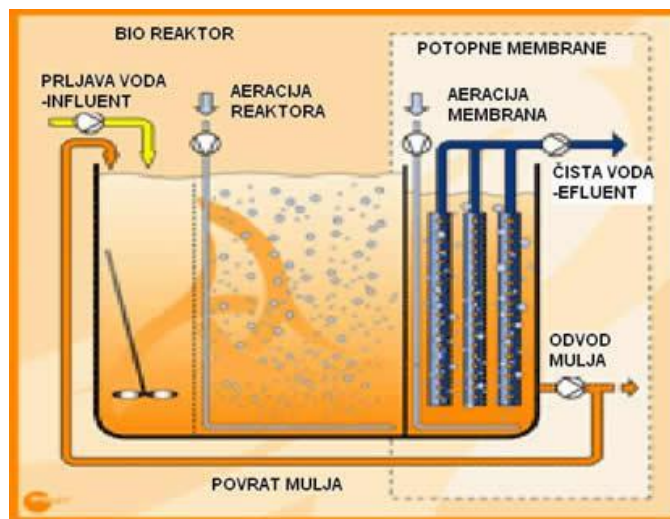
Поред ових основних начина за третман отпадних вода, потребно је издвојити реакторе као посебне јединице у системима за обраду загађених вода. Најчешћи типови реактора који се користе су: MBR, UASB, ABR, SBR.

MBR реактори

Мембрански Био Реактори (MBR) са уроњеним мембранама су модуларно пројетковани системи за пречишћавање комуналних, индустријских или пољопривредних отпадних вода. Технологија MBR-а је сепарацијски процес биолошке обраде са активним муљем.

Мембрански Био Реактор са уроњеним мембранама садржи 2 или 3 мембранска модула у вертикалној формацији, у којој се сваки модул састоји од равног мембранског платна, односно танког полупропусног филма који омогућава издвајање одређених компоненти из течне фазе раствора јер делује као селективна баријера за трансфер суспендованих и растворених материја. Отпадна вода се пумпом доводи у равно платно мембране у којој се постиже ефективни третман отпадне воде. Зачепљење мембранске површине муљем је значајно смањено континуалном дифузијом ваздуха са дна мембранског модула.

Изградња уређаја је модуларна што омогућава једноставно проширење јединице. MBR постројења се могу инсталирати на било којој локацији и имају могућност повећања капацитета сходно потребама. MBR технологија превазилази конвекционалне методе за третман отпадних вода смањењем оперативних трошкова, заузимањем мањег простора, поузданијим перформансама, обрађена вода (ефлуент) је високог квалитета и задовољава или превазилази најстрожије светске стандарде за испуштање и поновну употребу (слика 19).



Слика 19. Принципа рада MBR [8]

Једноставно одржавање, мали простор за смештај постројења, ниски почетни трошкови и висок квалитет пречишћавања отпадне воде комбинацијом третмана активним муљем и процесом филтрације кроз уроњене мембране чине га погодним за третман комуналних и индустријских отпадних вода. MBR-ом обрађена вода може се користити за наводњавање, заливање бетона итд. Повратна осмоза, обрнута или реверзна осмоза је метода

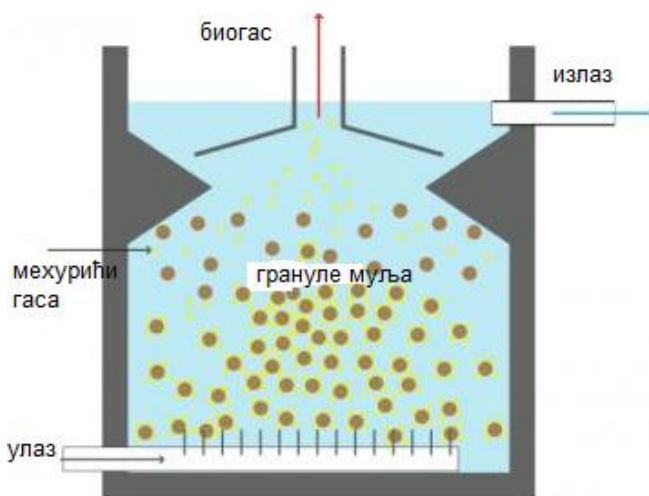
која служи за добијање питке воде из слане воде, користећи полупропусну мембрану кроз коју пролази чиста вода, а остају соли. Комбинацијом MBR и реверзне осмозе значајно се побољшава квалитет третиране воде, тако да се може користити за друге намене као што су испирање тоалета у хотелима, мешање бетона, индустријску воду, итд...[7]

UASB реактор (анаеробна дигестија муља)

UASB реактор (*Upflow anaerobic sludge blanket digestion*) је тип анаеробног дигестора који се користи за третман отпадних вода. UASB реактор (слика 20) у ствари представља дигестор који производи метан из органских компоненти отпадне воде.

Ови реактори за свој рад користе анаеробне процесе док се формира талог од гранулираног муља који се издваја у суду. Отпадна вода тече ка и кроз тај талог и том приликом се разграђује под дејством анаеробних микроорганизама.

Усмерени ток отпадне воде у комбинацији са гравитацијом, издваја талог уз помоћ одговарајућих флокуланата. Талог у року од 3 месеца сазри. Мале грануле муља почињу да образују кору која је прекривена слојем бактерија. У току времена формира се густи слој биофилма. У том биофилму се налазе највеће концентрације анаеробних бактерија које производе метан разградњом органских компоненти. [9]

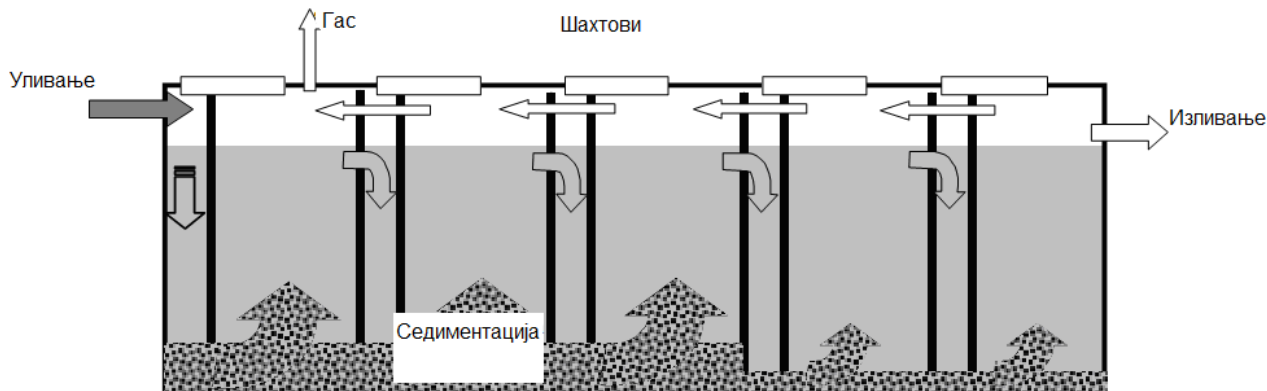


Слика 20. UASB реактор [10]

ABR реактор (анаеробни преградни резервоар)

Овај анаеробни реактор (ABR- *Anaerobic Baffled Reactor*) (слика 21) је један побољшани септички суд у коме се налазе преграде због којих је отпадна вода приморана да тече. Повећано контактено време између биомасе и преграда условљава бољи третман.

Већина таложивих чврстих честица се уклања из седиментационе коморе на почетку АБР-а што типично представља 50% тоталне запремине чврстих честица. Наредне коморе остварују додатно уклањање и дигестију органске материје. Како се муљ прикупља, његово уклањање је потребно сваких две до три године. [11]



Инокулација свежих отпадних вода са активним муљем

Слика 21. Изглед АБР

Биодискови

Главна компонента биодиск технологије, посебно биолошког третмана, састоји се од ротирајућих дискова (RBC- *Rotating Biological Contactors*). Биодиск је аеробни биофилтар са ротирајућим пластичним перфорираним дисковима (који служе као носачи имобилисане микрофлоре) постављеним на малом растојању на хоризонталној осовини и уроњеним скоро до половине (обично око 40 %) у суд са отпадном водом.

Уобичајен дизајн за мале системе састоји се из 3 таложна резервоара. Први је највећи и служи и као примарни таложни резервоар и као резервоар за задржавање муља. Нека разлагања биолошког отпада се одвијају већ у примарним таложним резервоарима; ако су дизајнирани са запремином дневног протока, ВРК је смањен за око две трећине. За мале системе обично није неопходна решетка код прилива.

У зависности од флукуација у количини и квалитету отпадне воде може бити потребан резервоар за егализацију укључујући пумпе за егализацију (изједначавање). За комуналне отпадне воде обично нису потребни. За примену у војном окружењу дневни проток долази веома концентрисан током неколико сати у току дана, што доводи до неопходности уједначавања њеног састава.

Након таложења и егализације вода се улива у биолошки третман са биодиском. Конструкционо се састоји из полипропиленских дискова централно причвршћених на хоризонталној осовини од нерђајућег челика, у малим размацама једно од другог. Мотор директно покреће осовину са спојницом и вибрирајућим амортизером између (слика 22).



Слика 22. Биодиск систем

Концепт рада заснива се на томе да је скоро половина површине дискова уроњена у отпадну воду која протиче кроз биодиск резервоар. Дискови се лагано обрћу око хоризонталне осовине. Облик резервоара је прилагођен уроњеном цилиндру, како би се избегло таложење муља у овој фази.

У року од неколико дана након пуштања система у рад, формира се слој микроорганизама на површини ротирајућих дискова и биолошким путем врши пречишћавање отпадне воде (слика 23). Паралелно овом процесу, формира се слободно пливајући, активни муљ у резервоару са дисковима који такође учествује у процесу пречишћавања отпадних вода.



Слика 23. Биодиск систем у раду

Турбуленција у отпадним водама настала ротацијом дискова и уграђеним лопатицама је довољна да задржи муљ у суспензији и да омогући његово пражњење заједно са отпадном водом.

Биоразградиви, органски загађивачи су апсорбовани од стране организама који покривају уроњени део дискова и активног муља унутар резервоара са дисковима. У различитим пропорцијама, у зависности од оптерећења, они су потом конвертовани у активне супстанце, оксиде или везани за муљ.



Слика 24. Поглед одозго на систем уграђен у земљу

Брзином ротације од око 4-5 обртаја у минути, количина генерисаног кисеоника је обично толико велика да упркос сталној потрошњи кисеоника од стране микроорганизама и муља у резервоарима, просечан садржај кисеоника је 2-3 mg/l. При крају пречишћавања, отпадна вода може садржати више од 4-6 mg/l. Када се примењује серија модула дискова, различит тип слоја ће се наћи на сваком модулу.

Довод кисеоника се аутоматски подешава према потрошњи кисеоника. Када је садржај кисеоника у резервоарима и на површини дискова смањен, долази до одговарајуће високе дифузије кисеоника због повећане разлике концентрација. Ово гарантује засићење кисеоником на површинском слоју диска током контакта са ваздухом.

Главне предности ротирајућег биолошког контрактора су:

- Једноставност у раду и одржавању;
- Снага и издржљивост;
- Прилагодљивост високим флукуацијама у протоку;
- Ниски енергетски захтеви.

Биолошки реактори који су онедавно постали веома актуелни MBR (мембрански биореактор) и SBR (секвенцијални шаржни реактор). MBR системи производе ефлуент високог квалитета, али су јако осетљиви на флукуације у оптерећењу ВРК и захтевају

велике напоре у одржавању. И SBR и MBR системи су економични само за мале протоке. Они представљају варијанте система активног муља. [12]

Табела 2. Поређење биодиск система са SBR [12]

Биодиск систем	SBR систем
Производи чистију воду него SBR систем	Чисти отпадну воду за канализацију, до прихватљиве мере када је добро пројектован
Иницијални трошак је мањи за системе веће од 20 m ³ /d	Ниска иницијална цена за мале капацитете (4-12 m ³ /d)
Заузима мали простор	Коришћење велике површине у односу на капацитет
Лако се прилагођава шок оптерећењима	Не може да се прилагоди шок оптерећењима
Ниска потрошња електричне енергије	Висока потрошња електричне енергије због операције пумпања

Табела 3. Карактеристике RBC-а и SBR [13]

	Улазне концентрације отпадних вода						Излазне концентрације отпадних вода					
Тип пречистача	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
2xRBC aerobni	496	50			61	5	115	28			61	1.4
RBC anoksičan	618	43	199	6	64	22.5	112	3.3	80	5.8	9.1	19
RBC aerobni	300	43		4.9	47	5	76	34				5.3
SBR	238	53	106	6.3	61	6	79	4	12	6	5	42
SBR	495	24.9	244		48.5	8	45	1				50
SBR	375	9.2	67	4.6			24	4.3	6.2	2.9		6.9
SBR	757	363				36	386	0.08				320

Табела 4. Цене опреме за пречишћавање отпадних вода [13]

Екв. становник	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

5. СЕКВЕНЦИЈАЛНИ ШАРЖНИ РЕАКТОР (SBR - SEQUENTING BATCH REACTOR)

Биолошки шаржни реактор је општи појам за тип суда који се широко користи у индустрији. Често се користи погрешан назив пошто се суд овог типа користи у различитим процесима као што су распад материје, мешање смеше, хемијске реакције, дестилација смеше, кристализација, раздвајање течности, полимеризација. У неким случајевима они нису реактори, али имају име које се одражава на улогу коју обављају.

SBR технологија се разликује од конвенционалних технологија које се користе при биолошким пречишћавањима отпадних вода. Највећа разлика је у томе што запремина испуњености реактора варира с временом, за разлику од традиционалних система са континуалним протоком. У реактору се по правилу одвија пренос топлоте који се у процесу хлађења или грејања остварује преко омотача. Генерално, грејање је ефикасније од хлађења: једноставније је довести топлоту у смешу него је одвести из ње. Грејање се реализује тако што се кондензује пара, при чему су коефицијенти преноса топлоте високи, а хлађење се реализује циркулисањем хладне воде, за коју су коефицијенти релативно ниски.

Кад се сирови материјал обрађује у малим количинама, каже се да је процес шаржни, или серијски или полу - шаржни. Управљање овим процесом се углавном изводи аутоматски. Управљање може да се састоји од пар једноставних операција или може да укључи сложено руковање и планирање. То се увек врши уз помоћ дигиталног управљачког система. [13]

SBR се користе широм света како у Европи и Кини, тако и у Сједињеним Америчким Државама као уређај за пречишћавање комуналних и индустријских отпадних вода. Високо загађена отпадна вода која је производ из различитих индустријских постројења укључујући млекаре, производњу папирних марамица, текстила итд., користе SBR као решење за третман отпадних вода. Генерално, непречишћене отпадне воде садрже висок ниво органског материја, бројне патогене микроорганизме, као и хранљиве материје и токсична једињења.

Отпадне воде створене из ових процеса садрже велики број загађујућих материја са високом концентрацијом које имају штетна дејства. SBR технологије разликује се од конвенционалних технологија које се користе за биолошко пречишћавање отпадних вода, а то је флексибилност рада (промена редоследа фаза и метаболичких функција), могућност рада у краћем временском периоду. Отпадне воде генерисане из разних индустрија представљају воде са различитим органским материјама, неорганским солима, органским растварачима, итд, које резултирају великим ХПК, ниским БПК, као и високим садржајем соли. SBR технологија се показала да има одличан квалитет ефлуента. Способност овог реактора се угледа и у томе што може да се комбинује и аеробна и анаеробна фаза у једном реактору. [14]

У SBR уређају аерација и пречишћавање отпадне воде се дешава у истом резервоару. Свака следећа фаза условљена је завршетком предходне, што је гаранција сигурног и

уједначеног резултата пречишћавања. Уједначеност протока се обезбеђује преко компензационог базена, сразмерно се акумулира сво оптерећење, а биће пречишћено без пражњења, током фазе напајања.

Такође постоји могућност раздвајања процеса у два реактора, који могу да раде наизменично, што чини систем флексибилним, гарантујући константне резултате, чак и ако је оптерећење променљиво, без непријатних мириса које је карактеристично за традиционалне уређаје. Максимално оптерећење у SBR уређајима не доводи до проблема у оксидационом резервоару, где се врши фаза аерације и пречишћавања, јер се пражњење пречишћене воде може извршити само после ефикасне фазе седиментације која се обавља у условима без течења, и стога, без икаквог повећања брзине и поремећаја процеса таложења.

Процес декантације се обавља у истом оксидационом резервоару, једноставним заустављањем аерације и обустављањем дотока сирове воде, одвија се спонтано без потребне припреме или било какве кружне рециклаже. Са овим системом, сви проблеми рециклаже су избегнути, гарантује се једноставна изградња и управљање. Руковање и одржавања је рутинско јер систем управљања је урађен у контролном орману, са контролном плочом. За било какву неисправност у раду система предвиђена је дојава кvara преко визуелних или звучних аларма, тако да је интервенција врло брза и обавља се само када треба, чиме су трошкови одржавања и надгледања минимални.

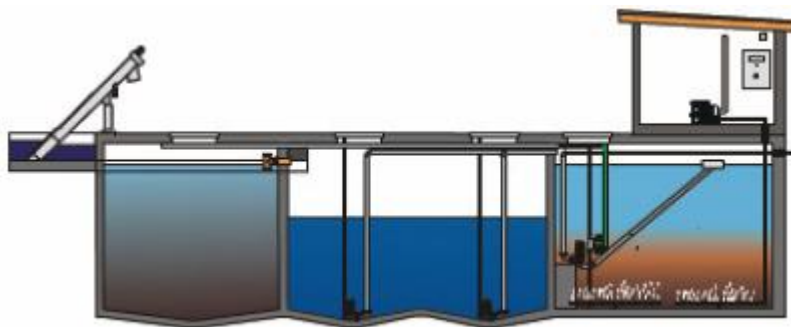
Осим тога, са SBR системом је могуће, истовремено са биолошком фазом, извести третман симултане нитрификације и денитрификације, постижући редукацију нитрогена на једноставан и најефикаснији могући начин. [15]

SBR пречистач отпадних вода има следеће карактеристике:

- **Високу флексибилност уређаја**, идеалан је за третирање отпадне воде са променљивим дневним хидрауличким оптерећењем, које може да се креће у интервалу од 40 – 100 % пројектованог капацитета, без потребе за подешавањем и проверавањем. За количине мање од 40% капацитета, потребно је подешавање параметара уређаја.
- **Квалитет излазне воде из уређаја је гарантован**, како у условима максималног тако и у условима променљивог органског оптерећења, будући да се пражњење пречишћене воде врши под условима да је доток сирове воде заустављен и да је завршен програмирани период декантације.
- **Брзо активирање уређаја**, због могућности коришћења уређаја као складишног резервоара (што значи без пражњења, односно протока кроз уређај) за 7-8 дана од активирања, коришћењем иницијалног активног муља или одговарајуће биотехнологије за стартовање, уређај је у функцији.
- **Комплетно одсуство лошег мириса, буке или вибрација**, јер захваљујући постојању резервоара са ублажавајућим ефектом, присуство био масе је и 3-4 пута мање него код традиционалних уређаја. Ово је врло важно, посебно у случају постављања постројења за пречишћавање отпадних вода врло близу градских насеља.

- **Сигурност у погледу квалитета ефлуента**, захваљујући процесу седиментације који је аутоматски подешен, и празни се аутоматски, елиминише се муљ са потпуним одвајањем од пречишћене воде.
- **Једноставно руковање** са малим експлоатационим трошковима.
- **Опрема која се уграђује у уређај је високо поуздана** са минималним захтевима за одржавањем. Системи за аерацију, који се користе, су тако конструисани да се ни током паузе, односно у периодима кад не раде, не замасте или запуше, тако да не требају ремонт чак ни после пар година не коришћења.
- **Машинска опрема је стандардизована** што је изузетно важно за одржавање уређаја. [15]

SBR је побољшана верзија система са активним муљем, који се састоји од једног или више резервоара, а сваки је способан за стабилизацију отпада и одвајање честица. Да би се оптимизовао процес обично се користе два или више реактора у спреси (слика 25.).

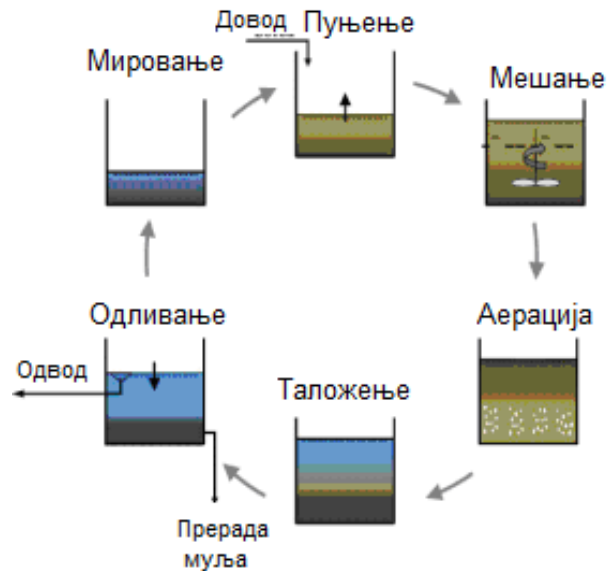


Слика 25. SBR постројење средњег капацитета

Конвенционални SBR системи, уопштено се састоје од серије корака пуњења, реакције, таложења, цеђења и мировања у циклчном раду са комплетном аерацијом током периода оксидације органских материја и нитрификације амонијак-нитрата. Недавно, SBR системи су модификовани подешавањем корака у реакционом циклусу ради обезбеђивања анаеробних и аеробних фаза у одрђеном броју и редоследа уклањања биолошких материја (C, N и P).

5.1. Редослед фаза SBR-а

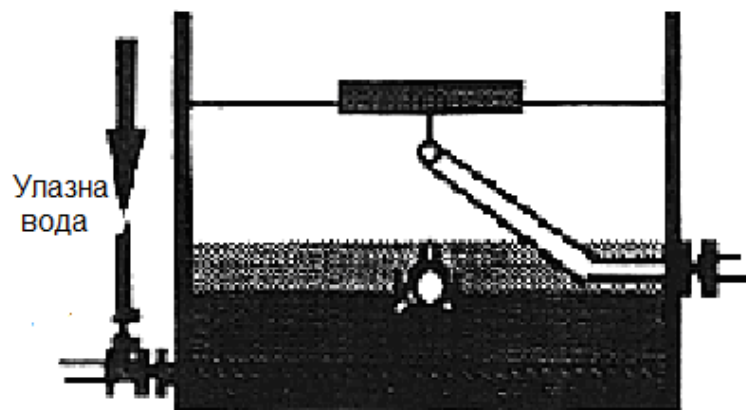
Принципе рада SBR, карактерише се у шест одвојених фаза (слика 26).



Слика 26. Редослед фаза SBR-а

1. Пуњење без кисеоника

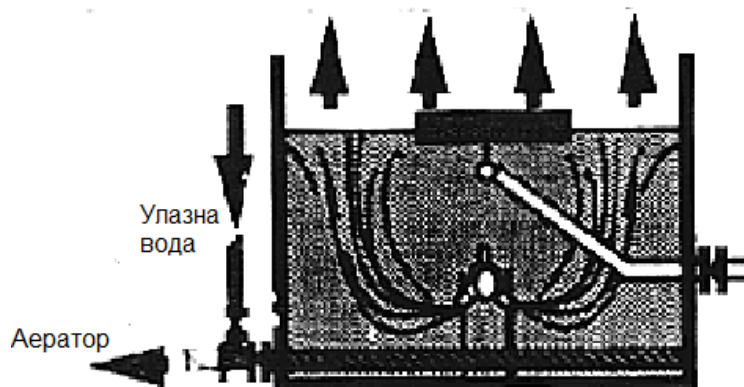
Отпадна вода попуњава простор, долази до таложења муља који се улива преко дистрибутивног ценовода и обезбеђује добар контакт између микроорганизама и подлоге (слика 27.). Већи део овог периода јавља се без аерације да би се створило окружење које погодује размножавању микроорганизама. Аерација почиње на почетку овог периода. [16]



Слика 27. Довод улазне воде

2. Аерисано пуњење

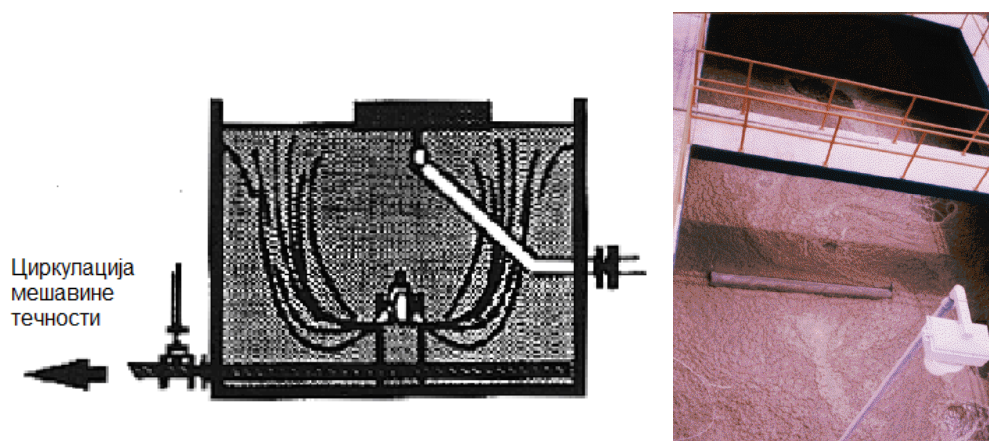
Ова фаза укључује мешање и аерацију у базену помоћу површинских аератора, а у циљу завршавања започете реакције у фази пуњења. (слика 28.) Током фазе аерације се органске материје оксидишу, азот подлеже процесима нитрификације, а фосфор се уклања из воде преко муља. За време када нема довода кисеоника у воду, одиграваће се у аноксичној зони процес денитрификације. Сврха денитрификације је уклањање азотних једињења у облику азотног гаса и ослобађање кисеоника из нитрата. [16]



Слика 28. Фаза аерације

3. Фаза реакције

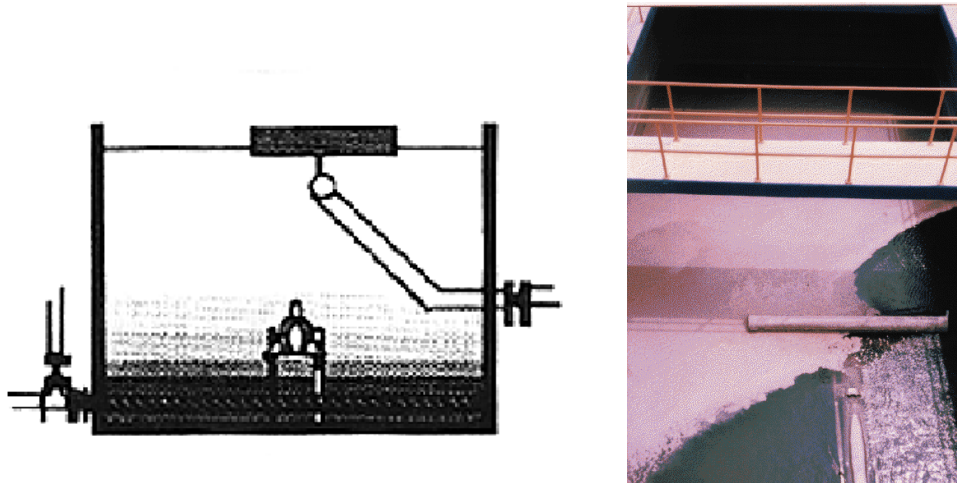
У овом периоду се наставља све док се не заврши аерација биодеградације БПК и азота. У овој фази неки микроорганизми ће умрети због недостатка хране и то ће помоћи да се смањи обим таложења муља (слика 29.) Дужином аерације утврђује се степен потрошње БПК. [16]



Слика 29. Фаза пуњења

4. Таложeње

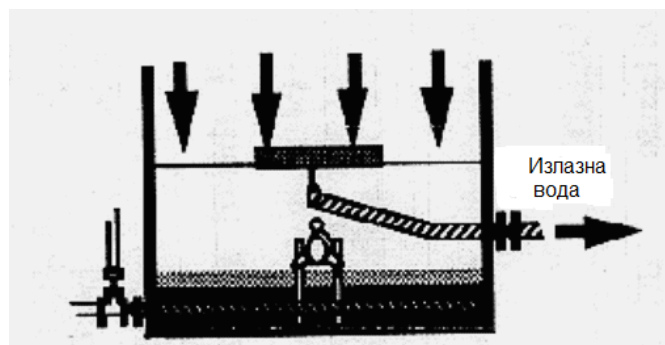
Аерација се губи у овој фази и одвија се одвајање чврстих материја остављајући улазну воду изнад муља (слика 30.). Током овог периода течност треба да уђе или да напусти резервоар. При том би требало водити рачуна да се избегне турбуленција. [16]



Слика 30. Таложeње

5. Decant фаза –фаза одливања

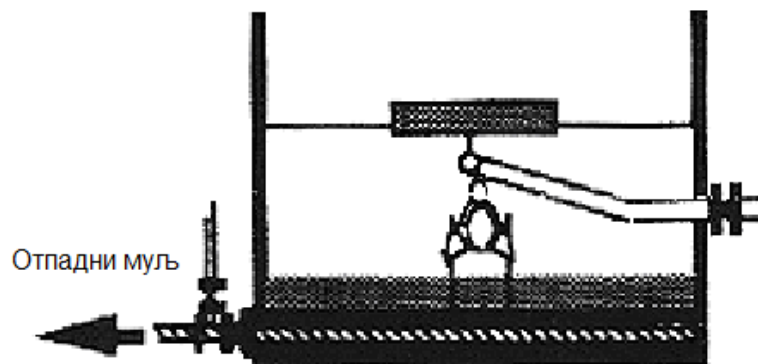
Овај период карактерише повлачење улазне воде од око два метара испод површине мешавине течности од плутајуће материје. (слика 31.) Ово уклањање мора да се уради без узнемиравања муља. [16]



Слика 31. Фаза одливања

6. Фаза мировања

У овој фази се ствара отпадни муљ (слика 32.) Муљ се испумпава на анаеробном дигестору. [16]



Слика 32. Одвод муља

5.2. Принцип рада шаржног реактора

Под називом шаржни реактор одликују се системи управљања уз помоћ временског контролера као и контрола аеробних и анаеробних процеса, а све у циљу постизања унапређеног третмана отпадних вода. Шаржни реактор је део система за пречишћавање отпадних вода чија употреба је почела још пре три деценије. Од тада је SBR реактор доживео низ модификација у циљу побољшања степена пречишћавања отпадних вода. Процес пречишћавања отпадне воде шаржним реактором одвија се у пет корака, а почиње са фазом „мешовито пуњење”.

У овој фази уливни вентил реактора је отворен и мешалица у потпуности меша биолошки чврсте материје где се врши изједначавање концентрација. Недостатак раствореног кисеоника и ниво нитрата који брзо опадају стварају идеално анаеробно окружење које омогућава ослобађање биолошког фосфора. Ова фаза се одвија и на потпуно прилагодљивом процесу селектора, да би се контролисао састав отпадне воде, односно количина микроорганизама. У другој фази, тзв. реакцијска фаза, уливни вентил остаје отворен чиме допушта отпадним водама да наставе пуњење реактора, мешалица ради, и отпочиње процес аерације. У току аерације долази до оксидације органских материјала, апсорпције фосфора, а амонијачна једињења прелазе у нитрате.

Оно што је јединствено код SBR секвенцијалног шаржног реактора је његова способност да се у једном уређају у оквиру две фазе одиграва и процес аерације и процес анаеробног третмана. Ова двострука контрола осигурава да су достигнути жељени нивои анаеробног процеса и да је спречена прекомерна аерација у условима малих протока. У току реакцијске фазе процеса одиграва се и период шаржне реакције, у току које је уливни вентил затворен, а отпадна вода се усмерава ка тзв. “пријатељском” реактору где се врши њено поновно аерисање у циљу оксидације преосталог загађења. Реактор има систем за временску контролу процеса, а контролише се и ниво раствореног кисеоника у отпадној води која се третира. На крају реакторске фазе када је отпадна вода већим делом пречишћена, отвара се

баријера и отпадна вода даље истиче у суд у коме се врши тзв. полирање отпадне воде, пре њеног завршног третмана, слегања и отпуштања.

У фази слегања уливни вентил је затворен, нема дотока отпадне воде, мешачи и систем за аерацију престају са радом. У мирном окружењу реактор се понаша као таложник на чијем дну се одвајају муљевите нерастворене материје, што реактору омогућава да функционише као савршен пречишћавач. Као и при свим фазама, оперативна флексибилност омогућава кориснику да подеси време таложења да би прилагодио рад реактора потребама постројења у склопу кога се реактор користи. Захваљујући шаржном својству процеса, фазу таложења не погађају варијације протока, јер је сам реактор конструисан тако да може поднети велике варијације у протоцима и оптерећењима, и управо ово својство SBR реактора представља велику предност у односу на неке друге типове реактора.

Филтрирање је пета и последња фаза у процесу пречишћавања. У овој фази пречишћена вода се мора уклонити из реактора у једнакој количини која је била додата у фази пуњења. Током фазе филтрирања (цеђења), уливни вентил је и даље затворен, а уређаји за аерацију и мешање су и даље искључени. Фаза цеђења одвија се кроз специјалне филтере, чија густина зависи од састава отпадне воде која се третира, као и од дозвољеног нивоа чистоће воде која сме да се испусти.

Цедиљка нуди додатну поузданост јер затвара брану цедиљке, наспрам полиуретанског заптивача лоцираног у пловку цедиљке. У затвореном положају заптивач и брана цедиљке обезбеђују ослобађање (пражњење), стварајући механичку баријеру која спречава улазак чврстих материја у реакторску јединицу. Контрола нивоа воде у реактору и пражњења обезбеђена су електро-вентилом на крају цеви цедиљке. Да би се отворила цедиљка, електрични активатор спушта брану и отвара се вентил који допушта чистој отпадној води да изађе из система.

Постоји још неколико кључних својстава SBR цедиљке који је чине јединственом у процесу шаржног реактора.

Једна предност цедиљке је што се пловак прилагођава различитим нивоима воде чиме обезбеђује да је уклоњена само отпадна вода високе концентрације. Цедиљка је затворена када индикатор нивоа одреди да је одређена тачка ниског нивоа достигнута. У овом тренутку испусни вентил се затвара, као и брана која се налази наспрам пловка.

Ово обезбеђује да чврсте материје не улазе у комору цедиљке у фазама када се не врши цеђење. У последњим минутима фазе цеђења, мале количине вишка биолошког, чврстог материјала биће отклоњене или отпремљене до постројења за чување биолошког муља. Овај процес најчешће се изводи потапајућим пумпама које раде само пар минута по једном циклусу, колико је довољно за одвођење наталоженог муља. У већини случајева смањењем протока, смањиће се и ниво отпадне воде у цедиљки на минимални, пре истека временске фазе цеђења. Док је реактор сада спреман да прими нове количине отпадних вода последњи минути ће сачињавати фазу мировања (тзв. “idle” фазу). [17]

5.3. Хемијски процеси унутар SBR-а

5.3.1. Нитрификација и денитрификација

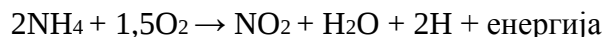
Азотна, као и фосфорна једињења, увек су присутна у отпадним водама, будући да су они главни чиниоци раста водених биљки у водотоцима, а прописима се уводе ограничења испуштања (табела 5.) Азот се у отпадним водама већином налази у облику амонијака, а у мањој мери у облику нитрита и нитрата. То зависи и од стања система одвођења отпадних вода. Биолошко уклањање азота из отпадних вода одвија се процесом оксидације амонијака (нитрификацијом) до нитритне форме, а након тога процесом редукције нитрата (денитрификацијом) до гасовитог азота, који се из система може испуштати у атмосферу.

Нитрификација и денитрификација су два биолошка процеса који један из другог теку такође под деловањем микроорганизама који из воде уклањају азотове спојеве.

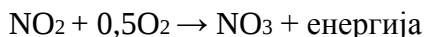
Табела 5. Концентрације параметара отпадних вода [18]

Показатељ		Концентрација (mg/l)	
		Распон	Уобичајна вредност
Физички			
Чврсте материје	Укупне	300-1200	700
	Таложне	50-200	100
	Суспендоване	100-500	220
	Распршене	250-850	500
Хемијски			
Органске материје	ВРК5	100-400	250
	НРК	200-1000	500
	ТОС	100-400	250
Азот	Укупни (N)	15-90	40
	Органски	5-40	25
	Амонијак	10-50	25
	Нитрити		
	Нитрати		
Фосфор	Укупни (P)	5-20	12
	Органски	1-5	2
	Аноргански	5-15	10
рН		7-7,5	7
Калцијум		30-50	40
Хлориди		30-85	50
Сулфати		20-60	15

При нитрификацији, амонијак се до нитрита оксидује у два степена:



а у другом степену:



Микроорганизми који учествују у нитрификационом процесу су ауотрофне, строго аеробне бактерије. У првом степену то су *Nitrosomonas*, *Nitrosocystis* и *Nitrosopira* а у другом степену и *Nitrobacter*.

Главни чиниоци процеса биолошке нитрификације су:

- ниска концентрација органских материја,
- довољна концентрација кисеоника (барем 2 mg/l),
- температура (оптимална 20°C),
- рН-вредност (оптимална 8-9),
- присутност CO₂,
- одустаност отровних материја.

Нитрификација почиње онда када се отпадне воде у систему задрже барем три дана или више. Препоручује се да у активацијским базенима концентрација кисеоника буде од 2 mg/l до 3 mg/l, а нитрификацијске бактерије најбоље расту при рН-вредностима 8-9. Када је рН вредност 7 или мање, тада се смањује активност нитрификацијских бактерија. Снижење температуре такође снижава брзину реакције. При денитрификацији нитрати се редукују у гасовити азот који одлази у атмосферу. Денитрификацију омогућавају хетеротрофне, строго или факултативно анаеробне бактерије као што су *Pseudomonas*, *Achromobacter* и *Bacillus*.

Процес је веома осетљив на температуру. Оптимална температура је 25 °C, а минимална 5°C. Такође је велики утицај рН-вредности. Коначани продукт је гасовити азот. Присутност молекуларног кисеоника смањује денитрификацијски процес. Нитрификација и денитрификација могу се одвијати самостално или у комбинацији. При конвенционалним процесима пречишћавања уз помоћ активног муља из отпадне воде могуће је уклонити од 30 до 50 посто укупног азота, а при додатној јединици за биолошку нитрификацију, за коју следи денитрификација, може се постигнути и 90 постотни учинак смањења азотних веза.

5.3.2. Уклањање фосфора

Постоји више процеса уклањања фосфата из отпадне воде. Сви они зависе од настанка анаеробних услова уз потпуну одсутност кисеоника и нитрата растворених у суспензији активног муља и отпадне воде. Притом су и ферментацијски производи битни, нарочито масне киселине са кратким ланцем угљеникових атома којима се подстиче раст и одабир одређене врсте бактерија које их у станичној структури могу акумулирати као резервну храну. Тај се процес одвија у анаеробној фази, а као извор енергије служи акумулирани

полифосфат који се разграђује у тој фази. При том се у знатној мери повећава концентрација ортофосфата у отпадној води (суспензији).

Током аеробне фазе у којој се аеробним процесима разграђују акумулиране масти, полифосфати се синтезују поново, али у већој мери него у ранијим процесима. Тај се процес популарно назива „luxury uptake“. Уклањањем вишка муља уклањају се и фосфати с биомасом.[18]

5.4. Технологија процеса пречишћавања SBR системима

Технолошки поступак наизменичног пуњења и пражњења реактора, тј. дисконтинуални поступак биолошке обраде отпадних вода последњих се година користи све више. Током таквог поступка вода се повремено доводи у биолошки реактор, из кога се након циклуса пречишћавања у потпуности празни. У истом се базену наизменично одвија укупни процес пречишћавања следећим редоследом:

- пуњење,
- аеробне реакције,
- аноксичне реакције,
- анаеробне реакције,
- таложeње,
- одвођење пречишћене воде.

Шаржни биореактори могу да се пројектују тако да се њихов рад заснива на уједначеном дотоку или на непрекидном радном циклусу. Решење засновано на непрекидном радном циклусу има широку примену у пракси јер омогућава транспарентност у току рада.

Потребна муљна маса која је одлучујућа за запремину биореактора се израчунава на основу биолошких процеса који су слични конвенционалном процесу у постројењима са активним муљем.

Као други услов се поставља то да запремина постројења мора да задовољи хидрауличке услове који су од кључне важности за потребно време реакције за течни муљ са садржајем суспендованих материја. Максимална величина базена се одређује или на основу запремине потребне за биолошку реакцију, или на основу потребне хидрауличке запремине, у зависности од тога која од њих је већа. Хидрауличка запремина је обично од одлучујућег значаја за сливне површине са високим вредностима дотока. У том случају SBR постројења немају никаквих предности у односу на конвенционални процес са активним муљем због чињенице да ће потребна величина SBR реактора превазићи запремину биореактора и секундарног таложника конвенционалног процеса са активним муљем.

У случају да је конструисан само један SBR базен, потребан је и базен за уједначавање дотока који ће примити и задржати долазеће отпадне воде у току периода таложeња, одливања и мировања. Као алтернатива овом решењу било би потребно да два базена раде у

исто време са различитим интервалима. У сваком случају пожељно је предвидети ретенциони базен испред шаржних биореактора да би се помогла измена фаза у току циклуса и омогућило изједначавање дотока.

Реактор је обично опремљен системом за аерацију, уређајем за мешање, помагалима за евакуацију пречишћене воде, уређајем за одвођење вишка муља, као и системом за управљање и контролу процеса. Пречишћавање отпадних вода се обавља у серијама фаза процеса (пуњење, реакција, таложење, одливање). Као и код конвенционалног процеса пречишћавања са активним муљем, SBR процес омогућава уклањање угљеника. Управљање SBR процесом захтева већи ниво обучености особља него процеса контактне стабилизације. Линија муља је слична оној код постројења са контактном стабилизацијом. [18]

5.5. Дизајн SBR система

Типични параметри SBR система налазе се у табели 6. Тип EPA 625/R-00/008 SBR-а, има циклус времена трајања од 3 до 4 сата, где је 50 одсто тог циклуса посвећено аерацији, 25 одсто пречишћавању, а 25 одсто за одливање. (табела 6)

Табела 6. *Пројектни параметри за тип EPA 625/R-00/008 система за пречишћавање SBR* [19]

Параметар	SBR системи
Предtretман	Септичка јама или еквивалентно
Мешавина суспендованих материја (mg/L)	2,000 - 6,500
Хидрауличко задржавање времена (h)	9-30
Укупно време циклуса (h)	4-12
Време задржавања чврстих материја (дани)	20-40
Отпадни муљ	Одржавају се по потреби
Време циклуса треба да се формира на основу захтева квалитета испуштања отпадних вода, самих отпадних вода и других препрека везаних за локацију.	

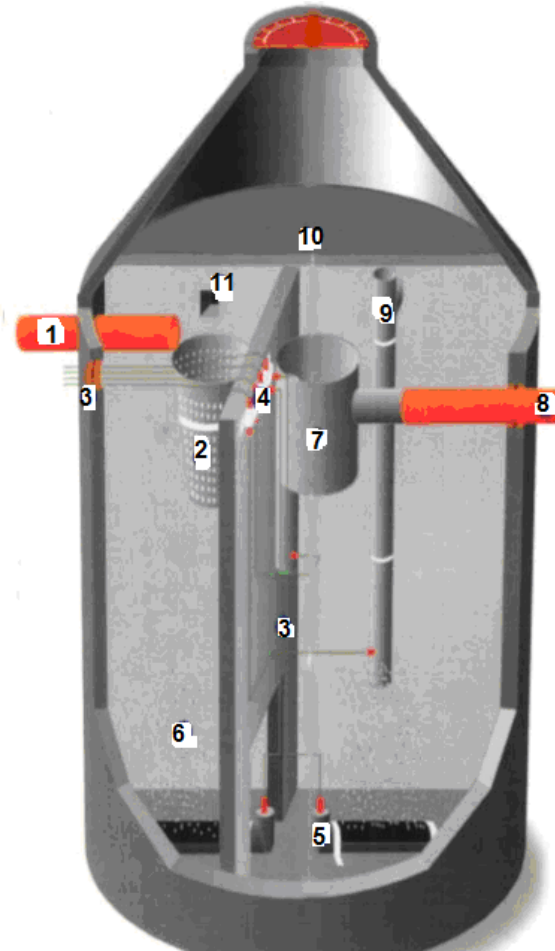
Овај пакет јединице треба да буду направљен од некорозивних материјала, као што су бетон, обложен пластиком, стаклом или челиком. Неке јединице су направљене на надземним бетонским плочама у циљу заштите од климатских услова. Јединице могу бити смештене под земљом, али је битно обезбедити приступ свим деловима како механичких, електричних тако и контролних система.

Све електричне компоненте треба да су водоотпорне и / или заштићене. Треба да се користи велики пречник цеви да би се избегло загушење. Дуваљке, пумпе и други механички уређаји треба да буде дизајнирани за континуирано тешку употребу. Лак приступ свим покретним деловима мора се обезбедити за рутинско одржавање. Ефикасан алармни систем треба да буде инсталисан да упозори власнике кућа ако дође до квара.

Уз одговарајући дизајн и рад, SBR постројења су направљена да произведу висок квалитет отпадних вода. Типични опсези су од 5 до 15 mg / L за ВРК. НРК се креће од 10 до 30 mg / L код добро регулисаних система. [19]

5.5.1. SBR системи мањег капацитета

Оваква извођења се користе углавном за неке мање потребе, као што су домаћинства или мања насеља. Имају и другачији изглед, а и мањи број фаза. (слика 33)



Слика 33. Изглед SBR мањег капацитета

Принцип рада

Отпадна вода из домаћинства долази доводном цеви 1 преко колектора за крупни отпад 2 у SBR резервоар и ту се нагомилава и биолошки пречишћава. У колектору за крупни

отпад, који се такође напаја ваздухом, а може се и слободно извући, сакупљају се неразградиве материје.

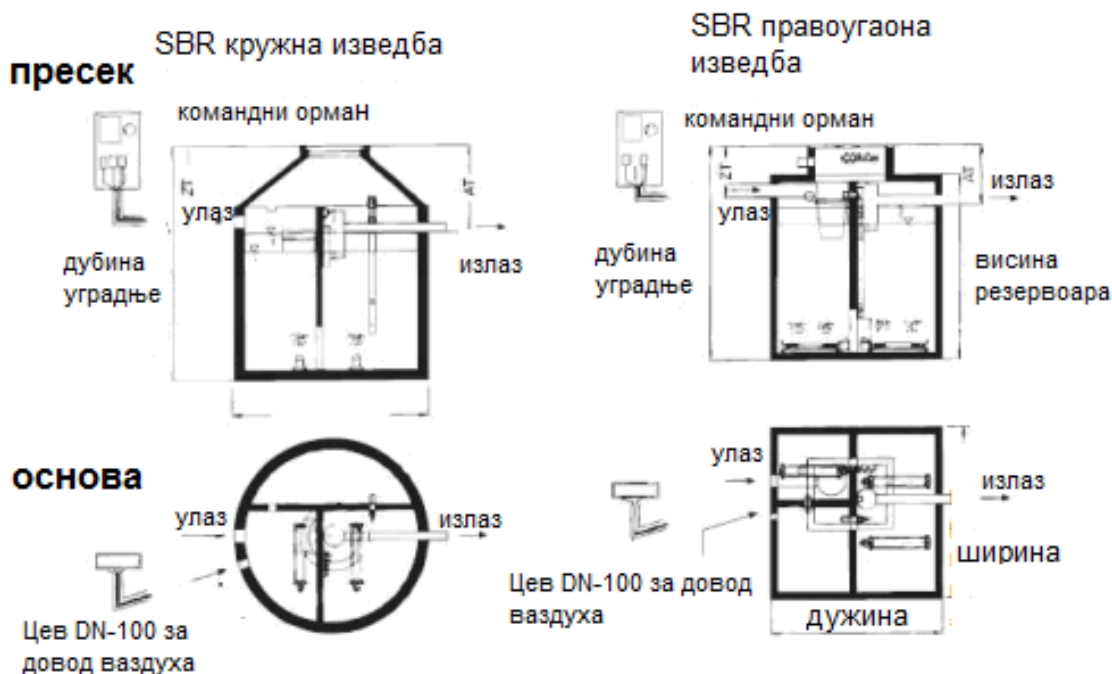
Фазе у SBR

Фаза аерације: Преко довода за ваздух 3, који су прикључени на разводник компримованог ваздуха 4, напајају се елементи за аерацију 5 кисеоником из ваздуха. Они се могу самостално извући и без пражњења резервоара, а њихова функција је да непосредно снабдевају мешавину отпадне воде и активног муља финим честицама ваздуха.

Фаза таложења: Претходно ускомешан активни муљ се у овој фази, без аерације, таложи на дну резервоара. У горњем делу SBR резервоара настаје зона избистрене воде.

Фаза одвођења избистрене воде: Преко уређаја за одвођење избистрене воде 7 (уграђен је сигурносни вентил и омогућено је узимање узорка) избистрена вода се транспортује у одводну цев 8 по принципу дизања течности преко компримованог ваздуха. Ниво воде у резервоару опада при томе до претходно дефинисаног нивоа.

Фаза извлачења муља: Наталожени активни муљ се путем цевовода за сувишни муљ 9 одводи у колектор за сувишни муљ 10. Тиме се постиже да у резервоару буде константна запремина муља. Надмуљна вода се преко повратног одвода за замућену воду 11 поново враћа у SBR резервоар. [20]



Слика 34. SBR изглед пресека и основе [20]

Табела 7. Кружна изведба [20]

Тип	Капацитет	Спољна мера (cm)	Et (cm)	DN UL/IZ (mm)	Максимална тежина [t]	Снага [W]
SBR 5 B	5 ES	224	285	150/100	6.1	86
SBR 10 B	10 ES	224	335	150/100	7.3	130
SBR 15 B	15 ES	276	355	150/100	10.4	370
SBR 20 B	20 ES	413x278	300	150/150	12.7	550
SBR 25 B	25 ES	413x278	315	150/150	13.5	550
SBR 30 B	30 ES	413x278	300	150/150	11.8	750

Разводни орман за све типове

Орман израђен од челика, монтира се на зиду, поставља се у сувој унутрашњој просторији, садржи сет за пнеуматику са магнетним вентилима, лампицу-индикатор сметње; прекидач за режим рада; бројач радних сати; контролу притиска; аларм (сирена) који се може ресетовати. Радни напон: 230 V/ 50 Hz.

Табела 8. Правоугаона изведба [20]

Тип	Капацитет	Спољна мера (cm)	Et (cm)	DN UL/IZ (mm)	Максимална тежина [t]	Снага [W]
SBR 5 B	5 ES	200 x200	250	150/100	0.9	86
SBR 10 B	10 ES	220 x216	250	150/100	1.2	130
SBR 15 B	15 ES	250 x216	300	150/100	1.6	370
SBR 20 B	20 ES	300x216	300	150/150	2.0	550
SBR 25 B	25 ES	380x216	300	150/150	2.4	550
SBR 30 B	30 ES	440x216	300	150/150	2.7	750

Могућа су и индивидуална решења и постројења за више од 30 ES. Систем компресора: до 10 ES клипно, преко тога ротационо. [20]

Табела 9. Вредности и резултати SBR [20]

Вредности	Резултат у mg/l*	Гранична вредност у mg/l
НРК ₅	43	90
ВРК ₅	4	25
Амонијак	0.14	10
Суспендоване материје	<0.1	0.3
*Извод из резултата мерења		

5.5.2. Ефекти пречишћавања у SBR-у

Као што је већ поменуто цео процес је софтверски вођен, на основу унапред утврђеног алгоритма уз сталну контролу параметара на уређају на основу којих се опет аутоматски врши корекција рада. Очекивани ефекти процеса су приказани следећом табелом 10.

Табела 10. Ефекти процеса SBR

Параметар	Јед. мере	Сирова отпадна вода	Захтевни квалитет пречишћене воде	Потребан степен пречишћавања	Гарантовани ефекти пречишћавања на уређају типа SBR
ВРК ₅	mg/l	400	25	93.75%	>95-98%
НРК	mg/l	667	125	81.26%	>95-98%
Суспендоване материје	mg/l	367	35	90.46%	>92-99%
Укупан N	mg/l	67	15	77.61%	>80-85%
Укупан P	mg/l	12	2	83.34%	>85-92%

На основу података из табеле, види се да је предвиђени тип уређаја за пречишћавање отпадне воде испуњава постављене критеријуме. Постигнути ефекти се доказују систематском контролом путем дневних протока пропорционалних композитних узорака.

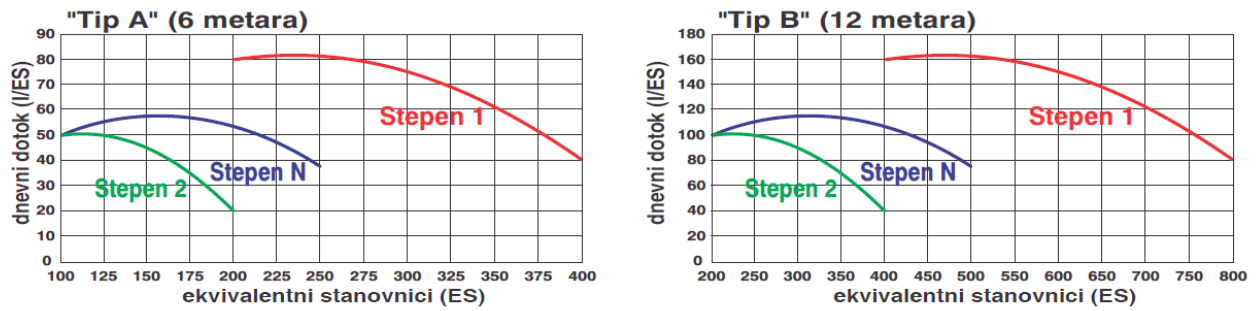
Један од произвођача (E.W.E. ECOSYSTEMS d.o.o.) SBR даје следеће карактеристике (табела 11.).

Табела 11. Димензионисање величине и учинак чишћења тип A (6m) и тип B (12m) [21]

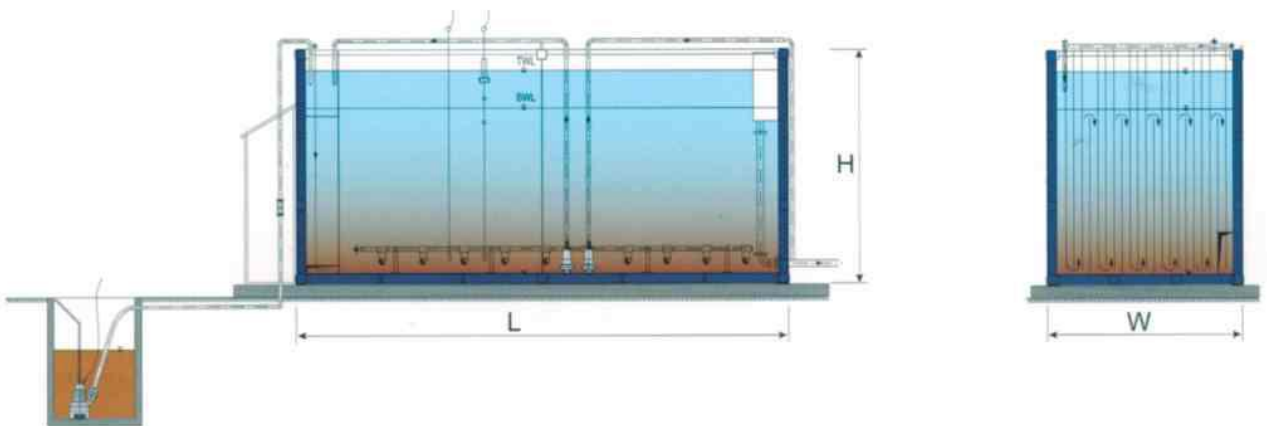
Тип	Степен	Хидр.оптерећење дневно (m ³ /d)	макс. (m ³ /h)	ES*)	Димензије(m) (L x W x H)	Потрошња енер. kW kWh/gmax inst.	
A	1	40 – 80	6,7	200-400	6 x 2,3 x 2,5	9,6	9.000
A	N	38- 50	4,2	100-250	6 x 2,3 x 2,5	5,6	7.500
A	2	20 – 50	4,2	100-200	6 x 2,3 x 2,5	5,6	7.500
B	1	80 – 160	14,6	400-800	12 x 2,3 x 2,5	13,5	18.000
B	N	75 – 100	8,8	200-500	12 x 2,3 x 2,5	9,6	15.000
B	2	40 – 100	8,8	200-400	12 x 2,3 x 2,5	9,6	15.000

*) ES = еквивалентни становник 1ES = 60g ВРК₅, 120g НРК, 11g Ук. N, 2g Ук. P

Следећи дијаграми илуструју податке из табеле 11. зависно од жељеног учинка пречишћавања (степен 1, степен N и степен 2). [21]



Слика 35. Тип А и Тип В [21]



Слика 36. Изглед SBR са основним димензијама [21]

Вода пречишћена на овај начин зависно од тога који се степен пречишћења тражи, може да се користи за поливање и да се слободно испушта у реку, а муљ се може користити као ђубриво у расадницима.

5.6. Примена SBR у свету и код нас

SBR систем се у свету користи више од 30 година и показали су се као добар систем за биолошко пречишћавање отпадних вода. Користи се за третман отпадних вода комерцијалних, институционалних, општинских, индустријских процедних вода малих протока, итд.



Слика 37. Инсталације широм света [22]

Боулинг Грин је трећи по величини град у Кентакију (САД), има приближно 60.000 становника. Услуге водоснабдевања и канализације у Боулинг Грин пружају Боулинг Грин комунална предузећа која имају и систем SBR за прераду отпадних вода. [23]



Слика 38. Један од највећих општинских SBR процеса у САД [23]

У Ст. Росе, Луизијани (САД) муљ користе као веома квалитетно ђубриво за расадник (предузеће IMTT). [24]



Слика 39. Резервоар терминал у Сент Росе, Луизијана [24]

5.6.1 Примери примене SBR система у Србији

Систем за пречишћавање комуналних отпадних вода, капацитета 800 ЕС, на локацији Сребрнац, подручје националног парка Копаоник, општина Брус је постројење за биолошку обраду комуналних отпадних вода контејнерског типа, капацитета 120 m³/dan.

Систем је формиран из више технолошких целина: механичког предтретмана - пријемног канала са грубом решетком и песколова са мастоловом; егализационог резервоара; биолошког реактора SBR-а (SBR - реактор са дисконтинуалним радом), командног контејнера са опремом за секундарну и терцијалну обраду биолошки пречишћених отпадних вода и резервоара за одлагање вишка муља из процеса биолошког пречишћавања.

Све технолошке целине осим биолошког реактора и командног контејнера су бетонске конструкције, четвртастог облика, покривене бетонском плочом са потребним отворима.

Све фазе рада постројења су аутоматизоване помоћу PLC-а, који омогућава прилагођавање рада система количини отпадне воде и њеног загађења. Рад постројења се може пратити и може бити управљан из једног центра путем GSM - мреже мобилне телефоније. [25]



Слика 40. SBR постројење Сребренац, општина Брус [25]

Такође, SBR систем за биолошку обраду комуналних отпадних вода контејнерског типа, капацитета $120 \text{ m}^3/\text{dan}$, тј. 800 ЕС постоји и на локацији Коњарник, подручје парка природе Стара Планина, општина Књажевац.

Систем се разликује од претходног само по томе што има резервоар за пречишћену отпадну воду са преливом. [25]



Слика 41. SBR постројење Стара Планина, општина Књажевац [25]

У Зрењанину је изграђено постројење за биолошку обраду комуналних и технолошких отпадних вода фабрике "Beohemija-Inhem" контејнерског типа, капацитета 52 m³/dan.

Систем је формиран из више технолошких целина: сабирне шахте за технолошке отпадне воде; сабирне шахте за комуналне отпадне воде; егализационог резервоара за технолошке отпадне воде; егализационог резервоара за помешане комуналне и технолошке отпадне воде; биолошког реактора SBR -а (SBR - реактор са дисконтинуалним радом), командног контејнера са опремом за секундарну и терцијалну обраду биолошки пречишћених отпадних вода, резервоара за одлагање вишка муља из процеса биолошког пречишћавања и резервоара пречишћене отпадне воде са преливом. [25]



Слика 42. Постојење за препаду комуналних и технолошких вода, "ВЕОНЕМИЈА-INHEM" ДОО, Зрењанин [25]

У општини Горњи Милановац, Коштунић, постоји постројење за пречишћавање санитарно-фекалних отпадних вода, фабрике "Јутра" доо. Ово је систем за биолошку обраду комуналних отпадних вода контејнерског типа, капацитета 18 m³/dan.

Систем је формиран из више технолошких целина: механичког предтретмана – груба механичка решетка у егализационом резервоару; егализационог резервоара; биолошког реактора SBR -а (SBR - реактор са дисконтинуалним радом), командног контејнера са опремом за секундарну и терцијалну обраду биолошки пречишћених отпадних вода, резервоара за одлагање вишка муља из процеса биолошког пречишћавања и резервоара пречишћене отпадне воде са преливом.

Све технолошке целине осим биолошког реактора, командног контејнера и резервоара пречишћене отпадне воде са преливом, су бетонске конструкције, четвртастог облика, покривене бетонском плочом са потребним отворима. [25]



Слика 43. Постојење за пречишћавање санитарно-фекалних отпадних вода, ПЈ Коштунићи, општина Горњи Милановац [25]

У Ужицу, насеље Злакуса постоји постројење за биолошку обраду комуналних отпадних вода контејнерског типа, капацитета $120 \text{ m}^3/\text{dan}$ – 800 ЕС.

Систем је формиран из више технолошких целина: механичког предтретмана - пријемног канала са грубом решетком; пријемне шахте; егализационог резервоара; биолошког реактора SBR-а (SBR - реактор са дисконтинуалним радом), командног контејнера са опремом, резервоара за одлагање вишка муља из процеса биолошког пречишћавања отпадне воде.

Како је положај постројења тик поред реке Ђетиње, све технолошке целине постројења су изнад коте високих вода осим пријемног канала са грубом решетком и пријемне шахте, који су подземне бетонске конструкције, четвртастог облика, покривене бетонском плочом са потребним отворима. [25]



Слика 44. Постојење за пречишћавање комуналних отпадних вода, насеље Злакуса, град Ужице [25]

У мају 2012. године пуштено је у рад постројење за пречишћавање отпадних вода у Индустрији меса Сатпех, Врбас вредно више од 2.7 милиона евра. ППОВ које се састоји од линије воде и линије муља пројектовано је за укупно меродавно оптерећење од 40.000 ЕС и за средњи дневни проток од 2.300 m^3 .

Поред линије воде постројење поседује и линију муља на којој се након алкалне хидролизе у аеробном дигестору врши стабилизација муља генерисана у јединици за флотацију раствореним ваздухом (DAF).

Основни делови овог постројења за пречишћавање отпадних вода су следећи:

- црпна станица сирове воде – прихват целокупне количине отпадне воде из Индустрије меса Carnex,
- самоиспирајуће ротационо сито–механичко одвајање грубе нечистоће од отпадне воде и транспорт чврстог компактованог отпада у контејнер,
- флотатор-флотација раствореним ваздухом и без додавања хемикалија, а у циљу издвајања суспендованих материја и масти из воде. Пливајући муљ се сакупља у резервоару за хидролизу који представља прву јединицу процесне линије муља,
- разделна комора–хемијско таложење фосфора помоћу раствора FeCl_3 и прихват рециркулисаног активног муља из биолошког третмана отпадне воде,
- SBR реактори (SBR 1 и SBR 2) – биолошко пречишћавање отпадних вода у секвенционалним шаржним реакторима помоћу активног муља,
- угушћивач муља (ротирајући бубањ) – угушћивање вишка муља из SBR реактора уз помоћ раствора полиелектролита,
- резервоар за ефлуент–прихват пречишћене воде из SBR реактора преко пливајућих декантер система и транспорт воде преко мерача протока у природни реципијент,
- резервоар за хидролизу–прихват пливајућег муља из DAF јединице и алкална хидролиза муља помоћу раствора NaOH ,
- аеробни дигестор–биолошка стабилизација органског муља процесом аеробне дигестије (истовремено удување ваздуха преко air-lift пумпи),
- резервоар за муљ–прихват стабилизованог муља из аеробног дигестора и са угушћивача муља,
- станица за полимер–припрема радног раствора полимера полиелектролита за обезводњавање муља,
- декантер за муљ–додатно обезводњавање (дехидратација) две врсте муља уз помоћ полиелектролита и транспорт муљне погаче у контејнер. [26]

ППОВ врши пречишћавање отпадних вода која настају током рада Индустрије меса и погона за прераду нуспроизвода од клања животиња. Постројење дневно може да пречисти 2.300.000 литара отпадне воде поред физичког и хемијског третмана. У циљу убрзавања процеса биолошког пречишћавања воде у SBR реакторе је засејана одабрана култура сапрофитних бактерија способна да разграде широк спектар и најкомплекснијих једињења у ППОВ при аеробним условима. [27]



Слика 45. SBR реактор у фази аерације, Индустрија меса Carnex [27]

Ново ППОВ у Суботици пуштено је у погон 2009. Капацитет у бескишном дану 36.000 m³, а у кишном 72.000 m³. [28]

Табела 12. Квалитет пречишћене воде - просечне годишње вредности [28]

Параметар	2007.	2008.	2009.	2010.	2011.
ВРК ₅ (mgO ₂ /l)	20,9	14,5	8,1	6,2	4,4
НРК (mgO ₂ /l)	70,7	54,9	36,5	35,2	41,1
Суспендоване материје (mg/l)	30,3	21,5	28,5	14,3	9,5
Укупан (mg/l)	30,5	30,8	16,6	12,8	11,5
Укупан (mg/l)	4,2	3,4	2,1	1,4	1,0



Слика 46. Изглед ППОВ у Суботици [28]

За град Панчево изабрано је решење се које заснива на индивидуалним SBR системима за свако насеље и сам град. SBR постројење у Панчеву пројектовано за 120.000 ЕС. Потребна површина 3-4 ха.

Град	Насеље	Насеље
Панчево	Јабука	Глогоњ
- 120.000 ЕС	- 6.500 ЕС	- 3.500 ЕС
- 32140 m ³ /d	- 1365 m ³ /d	- 735 m ³ /d
- 372 L/s	- 15.8 L/s	- 8.5 L/s
- 17M EUR	- 1 SBR	- 1 SBR
	- 1.3M EUR	- 800.000 EUR

Табела 13. Вредности параметара [28]

Параметар	ВРК ₅	НР К	Укупне сусп. мат.	Укупан азот	Укупан фосфор
Конк. mg/L	25	125		10 (>100 000 ЕС)	1 (>100 000 ЕС)
				15 (10 000- 100 000 ЕС)	2 (10 000-100 000 ЕС)

Предвиђено је да се процесни објекти и опрема постројења на линији примарног и секундарног третмана, у капацитативном и технолошком смислу изведу три идентичне линије. Капацитет сваке линије износи по 225 L/s, односно по 40.000 еквивалентних становника. Биолошка обрада (SBR) уз дозирање ферихлорида за хемијско уклањање фосфора.

Пречишћена вода се колектором одводи у Дунав преко уређене изливне грађевине. [28]

5.7. Одржавање SBR-а

Пожељан је интензивни надзор од стране квалификованог особља током првих месеци рада. Већина радних параметра у SBR системима могу бити контролисана од стране оператера. Сваки систем је опремљен алармним системом који упозорава на лош рад.

Контроле се препоручују три до четири пута годишње, у зависности од исхода инспекцијског надзора.

Табела 14. Предложена одржавања SBR постројења [19]

Компоненте	Предложена одржавања
Реаговање резервоара	Проверити да ли пени и да ли је неравномерна расподела ваздуха, провера пливајућег шљама, итд..
Аерациони систем	Проверити филтере за ваздух, заптиваче, ниво уља и повратни притисак; извршити произвођачеве захтеве одржавања.
Аерациони систем-механички	Проверити вибрације и могућност прегревања, проверити ниво уља, и заптиваче; извршити произвођачеве захтеве одржавања.
Септичка јама (примарна)	Проверити нагомилавање чврстих материја и рад пумпања ако је то потребно.
Контроле	Проверити функције свих контрола и аларма, проверити електрични управљачки ормарић.
Трошење муља	Пумпају се отпадне материје као што се захтева да се одржи обично 500 до 4.000 mg/L.
Анализа	Узимање узорка пречишћене отпадне воде и ношење на коначну анализу, дајући коначни извештај о параметрима за квалитет воде (BPK, HPK, pH, N, P, итд).

Уз правилно управљање систем је поуздан и не представља ризик по власника или околину. Ако се не рукује правилно, може доћи до лошег утицаја на животну средину у то кроз производњу лошег квалитета ефлуента који могу представљати ризик по здравље, а може довести и до отказа подземних система.

SBR системи су отпорни на променљиве протоке и квалитет оптерећења за разлику од других аеробних биолошких система. Нису отпорни на екстремне хладноће и треба да буду укупани и/или изоловани. Дуг нестанак струје може да доведе до непријатних мириса, као што је случај и са другим аеробним биолошких система. [19]

5.8. Економска анализа уградње SBR-а

Инсталацијски трошкови варирају у зависности од услова. Треба напоменути да ће уградња додатних компоненти система довести до додатних трошкова. Годишњи оперативни и трошкови одржавања укључују електричну енергију, уклањање муља и сервисирање опреме. Стварни трошкови ће се разликовати у зависности од локације и уређаја. [19]

Табела 15. Пример обрачуна годишњих трошкова за постројење капацитета 450 m³/dan. [15]

Трошкови	Износ, €
I Фиксни трошкови	54.210,65
1. Амортизација	31.404,08
2. Одржавање	13.105,27
3. Осигурање	0,00
4. Бруто-лични доходат	9.701,30
II Варијабилни трошкови	13.047,73
5. Енергија	11.489,29
6. Потрошни материјал	1.558,44
III Укупни трошкови (I+ II)	67.258,39
IV Цена 1 m ³ пречишћене воде	0,41

5.9. Математички модел SBR-а

Еквивалентни број становника

Загађење отпадних вода неке индустрије изражава се поред анализе састава и бројем еквивалентних становника (ЕС). Код заједничког одвођења и пречишћавања комуналних и индустријских отпадних вода поставља се проблем расподеле трошкова пречишћавања и процене утицаја индустријских отпадних вода на постројење за пречишћавање или на природне пријемнике отпадних вода.

Због тога се у пракси користи појам еквивалентни број становника (ЕС). Оптерећења индустријских отпадних вода се изражавају одговарајућим еквивалентним бројем становника чиме се поједностављују техно-економски и технички прорачуни. Еквивалентни број становника се најчешће дефинише тако што се својства неке отпадне воде у погледу садржаја ВРК5 упореде са уобичајеним вредностима за комуналне отпадне воде.

Усвајајући да сваки становник прикључен на канализациону мрежу уноси за један дан **60 g ВРК5** у отпадну воду, еквивалентни број становника може се дефинисати:

$$EC = \frac{\sum BPK_5}{BPK_5} \cdot \frac{\frac{g}{d}}{g \cdot (st \cdot d)}$$

где су:

ΣBPK_5 – укупно оптерећење загађења неке индустријске отпадне воде

BPK_5 – оптерећење загађења канализационих вода по становнику за један дан.

Табела 16. Неке индустријске отпадне воде сведене на број ЕС на бази од 60 g/(st·dan)

Индустрија	Јединица производње	ЕС
Млекара са сирењем	на 1000 L млека	50-250
Кланица	за једног вола или 2,5 свиње	70-200
Пивара	на 1000 L пива	300-2000
Пекара	на 1000 L жита	1500-2000
Фабрика целулозе	на 1 t целулозе	3000-4000
Перионица вуне	на 1 t вуне	2000-3000

Прорачун SBR реактора урађен је за 25.000 ЕС.[29]

Полазни подаци су:

Инфлуент:

Средњи дневни проток: 3.709.703 l/dan=3.709 m³/dan=154,5 m³/h

BOD₅ (20 °C): 250 mg/l

Суспендоване честице: 220 mg/l

NH₃-N: 35 mg/l

Акалност: 184 mg/l

Температура: 10-20°C

Ефлуент:

BOD₅ (20 °C): 10 mg/l

Суспендоване честице: 10 mg/l

NH₃-N: 4 mg/l

Критеријуми за пројектовање:

$$F/M = 0,0772 \frac{\frac{BOD_5}{MLSS}}{dan}$$

SVI (након 60 минута таложјења): 150 ml/g

Број резервоара: 2

Врх нивоа воде: 4,5m

Циклуси:	Аерација	Таложјење	Одливање	Укупно
	120 мин	60 мин	60 мин	4h
При већим количинама услед падавина	90 мин	45 мин	40 мин	3h

Биолошка потрошња кисеоника

$$BOD_L = Q \cdot BOD_{in} \quad (5.1)$$

где су:

BOD_L - BOD оптерећење (mg/dan)

Q - просечни проток по сувом дану по резервоару (l/dan)

BOD_{in} - концентрација BOD на улазу (mg/l)

$$BOD_L = 1.854.851,782 \cdot 250 = 463.712.945 \left[\frac{mg}{dan} \right] = 463.713 \left[\frac{\frac{g}{dan}}{резерв.} \right]$$

$$BOD_L = 463.713 \left[\frac{\frac{g}{dan}}{резерв.} \right]$$

Неопходна количина биомасе за уклањање BOD

$$M_{bod} = \frac{BOD_L}{F/M} \quad (5.2)$$

где су:

M_{bod} – количина биомасе за уклањање BOD (g/резерв.)

F/M - однос food (хране) и microorganism (микроорганизама)

$$M_{bod} = \frac{463.713}{0,0772} = 6.006.644 \left[\frac{g}{резерв.} \right]$$

$$M_{bod} = 6.006.644 \left[\frac{g}{резерв.} \right]$$

Оптерећење азотом

$$\Delta N = [(NH_{3in} - NH_{3out}) - ((BOD_{in} - BOD_{out}) \cdot Y \cdot N_s)] \cdot Q \quad (5.3)$$

где су:

ΔN - нето азотна оптерећења (mg/dan/резерв.)

NH_{3in} - концентрација амонијака на улазу (mg/l)

NH_{3out} - концентрација амонијака на излазу (mg/l)

BOD_{out} – захтевана концентрација BOD (mg/l)

$Y = 65\%$ - количина муља

$N_s = 7\%$ - садржај азота у муљу

$$\Delta N = [(35 - 1) - (250 - 10) \cdot 0,65 \cdot 0,07] \cdot 1.854.851,782$$

$$\Delta N = 42.809.979,13 \left[\frac{mg}{dan} \right]$$

Биомаса потребна за нитрификацију

$$M_{nit} = \frac{\Delta N \cdot 10^3}{K \cdot T_a \cdot 0,7} \quad (5.4.)$$

M_{nit} - маса потребна за нитрификацију (mg/резерв.)

$K = 1,5$ - коефицијент нитрификације (mg NH-N/g MLVSS/h)

$T_a = 12$ - време аерације (h/dan)

0,7- фракција MLSS која је променљива

$$M_{nit} = \frac{42.809.979,13 \cdot 10^3}{1,5 \cdot 12 \cdot 0,7} = 3.397.617,391 \left[\frac{mg}{резерв.} \right]$$

$$M_{nit} = 3.397.617,391 \left[\frac{mg}{резерв.} \right]$$

Количина биомасе која је неопходна

$$M_{bod} = 6.006.644 \left[\frac{g}{резерв.} \right]$$

$$M_{nit} = 3.397.617 \left[\frac{g}{резерв.} \right]$$

Усвојена је већа количина биомасе:

$$M_{bio} = 6.006.644 \left[\frac{g}{резерв.} \right] \quad (5.5)$$

Запремина биомасе

$$V_{bio} = M_{bio} \cdot SVI \quad (5.6)$$

где је:

V_{bio} - запремина биомасе (m^3 /резерв.)

M_{bio} - маса биомасе (g/резерв.)

$SVI = 1,49 \cdot 10^{-4} \approx 1,5 \cdot 10^{-4}$ - индекс запремине муља (m^3/g) [29]

$$V_{bio} = 6.006.644 \cdot 1,5 \cdot 10^{-4} = 900 \left[\frac{m^3}{резерв.} \right]$$

$$V_{bio} = 900 \left[\frac{m^3}{резерв.} \right]$$

Максимална запремина изнад доњег нивоа воде

Запремина при сувом времену:

$$V_{bwld} = \frac{PDWF \cdot (CT - Dth)}{24} \quad (5.7)$$

где су:

V_{wld} - максимална запремина изнад доњег нивоа воде (m^3 /резерв.)

$PDWF$ - проток када је суво време (l/дан) (Усвојено 76,5% просечног дневног протока = 2.838.750 l/дан) [29]

$CT = 4$ - нормално време циклуса (h/циклус) [29]

$Dth = 1$ - време одливања (h/циклус) [29]

$$V_{bwld} = \frac{2.838.750 \cdot (4 - 1)}{24} = 354.843,75 \left[\frac{l}{резерв.} \right] = 354,8 \left[\frac{m^3}{резерв.} \right]$$

$$V_{bwld} = 354,8 \left[\frac{m^3}{резерв.} \right]$$

За кишовити период:

$$V_{bwls} = \frac{PWWF \cdot (SCT - SDTh)}{24} \quad (5.8)$$

где су:

V_{bwld} - максимална запремина изнад доњег нивоа воде за кишовит период ($m^3/резерв.$)

$PWWF$ - проток када је влажно време (l/дан) (Усвојено 200% просечног дневног протока = 7.570.000 l/дан) [29]

$SCT = 4$ - време циклуса за кишовит период (h/циклус) [29]

$SDTh = 0,75$ – време одливања за кишовит период (h/циклус) [29]

$$V_{bwls} = \frac{7.570.000 \cdot (3 - 0,75)}{24} = 709.687,5 \left[\frac{l}{резерв.} \right] = 709,687 \left[\frac{m^3}{резерв.} \right]$$

$$MVAB = 709,687 \left[\frac{m^3}{резерв.} \right] \quad (5.9)$$

Стопа одливања

При сувом времену:

$$PDDR = \frac{MVAB}{DT} + \frac{PWWF}{1,440} \quad (5.10)$$

где су:

$PDDR$ - вршни проток (одливање) за суво време (l/мин.)

$DT = 60$ - нормално време одливања (мин./циклус)

1440 = коефицијент конверзије (мин./дан) [29]

$$PDDR = \frac{709.687}{60} + \frac{2.838.750}{1.440} = 13.799 \left[\frac{l}{мин.} \right]$$

$$PDDR = 13.799 \left[\frac{l}{мин.} \right]$$

За кишовити период:

$$PWDR = \frac{MVAB}{SDT} + \frac{PWWF}{1.440} \quad (5.11)$$

где су:

PWDR- вршни проток (одливање) за влажан период (l/мин.)

SDT- време одливања за кишовит период (мин./циклус)

1440 = коефицијент конверзије (мин./дан) [29]

$$PWDR = \frac{709.687}{45} + \frac{7.570.000}{1.440} = 21.027,76 \left[\frac{l}{мин.} \right]$$

$$PWDR = 21.027,76 \left[\frac{l}{мин.} \right]$$

Величина декантера

При сувом времену:

$$DLd = \frac{PDDR}{20} \quad (5.12)$$

где су:

DLd- максимална дужина декантера за суво време (m)

1,86 - коефицијент који дефинише стопу пуњења (m²/мин.) [29]

$$PDDR = 13.799 \left[\frac{l}{мин.} \right] = 13,799 \left[\frac{m^3}{мин.} \right]$$

$$DLd = \frac{13,799}{1,86} = 7,42 [m]$$

$$DLd = 7,42 [m]$$

За кишовити период:

$$DLs = \frac{PWDR}{25} \quad (5.13)$$

где су:

DLs- максимална дужина декантера за кишовити период (m)

2,32- коефицијент који дешинише стопу пуњења при кишовитом времену (m²/мин.) [29]

$$PWDR=21.027,76\left[\frac{l}{мин.}\right]=21,027\left[\frac{m^3}{мин.}\right]$$

$$DLs=\frac{21,027}{2,32}=9[m]$$

$$DLs=9[m]$$

Усвојена дужина декантера је 9 m.

Радна запремина резервоара

$$BWV= MVAB+Vbio \quad (5.14)$$

где су:

MVAB - максимална запремина изнад BWL (m³/резерв.)

Vbio-запремина биомасе (m³/резерв.)

$$BWV = 709,687 + 900 = 1.609,687 [m^3]$$

$$BWV = 1.609,687 [m^3]$$

Површина резервоара

$$BA= \frac{BWV}{TWL - BZ} \quad (5.15)$$

где су:

BA - површина резервоара (m²)

TWL = 4,5 -горњи ниво воде (m) [29]

BZ = 1- тампон зона (m) [29]

$$BA= \frac{1.609,687}{4,5 - 1} = 460[m^2]$$

$$BA=460[m^2]$$

Дубина муља

$$SD = \frac{V_{bio}}{BA} \quad (5.16)$$

где је:

SD- дубина муља (m)

$$SD = \frac{900}{460} = 1,96[m]$$

$$SD = 1,96[m]$$

Нагиб декантера

$$DD = \frac{MVAB}{BA} \quad (5.17)$$

где су:

DD = нагиб (m)

MVAB - максимална запремина изнад BWL (m³/резерв.)

$$DD = \frac{709,687}{460} = 1,54[m]$$

$$DD = 1,54 [m]$$

Доњи ниво воде

$$BWL = SD + BZ \quad (5.18)$$

где је:

BWL- доњи ниво воде (m)

$$BWL = 1,96 + 1 = 2,96 [m]$$

$$BWL = 2,96 [m]$$

Горњи ниво воде

$$TWL = BWL + DD \quad (5.19)$$

где је:

TWL- горњи ниво воде(m)

$$TWL = 2,96 + 1,54 = 4,5[m]$$

$$TWL = 4,5[m]$$

Хидраулично време задржавање

$$HRT = \frac{BA \cdot MAFD}{Q} \quad (5.20)$$

где су:

HRT- хидраулично време задржавање (дан)

BA - површина резервоара (m²)

MAFD-просечна дубина (m)

$$MAFD = \frac{Q \cdot ((CT \cdot 60) - DT)}{BA \cdot 24 \cdot 60} + BWL \quad (5.21)$$

$$MAFD = \frac{1.854,85 \cdot ((4 \cdot 60) - 60)}{460 \cdot 24 \cdot 60} + 2,96 = 3,29[m]$$

$$MAFD = 3,29[m]$$

$$HRT = \frac{460 \cdot 3,29}{1854,65} = 0,82 \text{ дана} = 19,68 [h]$$

Концентрација MLSS на доњем нивоу воде

$$MLSS = \frac{M_{bio}}{BWL \cdot BA} \quad (5.22)$$

где су:

MLSS -мешавина течности суспендованих материја на доњем нивоу воде (mg/l)

M_{bio}- маса биомасе (g/резерв.)

$$MLSS = \frac{6.006.644}{2,96 \cdot 460} = 4,41 \left[\frac{mg}{l} \right]$$

$$MLSS = 4,41 \left[\frac{mg}{l} \right]$$

Маса произведеног муља

$$\Delta M = (BOD_{in} - BOD_{out}) \cdot Y \cdot Q \quad (5.23)$$

где су:

ΔM - маса произведеног муља (g/дан/резерв.)

Y- количина муља (муљ/BOD) (Усвојено 65% [29])

$$\Delta M = (250 - 10) \cdot 0,65 \cdot 1.854.650 = 289.325.400 \left[\frac{mg}{дан} \right]$$

$$\Delta M = 289.325.400 \left[\frac{mg}{дан} \right]$$

Запремина произведеног муља

$$V_{ws} = \frac{\Delta M}{SF_{ws} \cdot \rho} \quad (5.24)$$

где су:

V_{ws} - количина отпадног муља (l/дан/резерв.)

SF_{ws}=0,85% -чврсте фракције у отпадном муља

ρ - густина воде (kg/m³)

$$V_{ws} = \frac{289.325,4}{0,0085 \cdot 1000} = 34.038 \left[\frac{l}{дан} \right]$$

Средње време задржавања ћелије

$$MCRT = \frac{M_{bio}}{\Delta M + [(Q - V_{ws}) \cdot SS_{out}]} \quad (5.25)$$

где су:

M_{bio} – маса биомасе (g/резерв.)

SS_{out} – суспендоване материје на улазу (mg/l)

$$MCRT = \frac{6.006.644 \cdot 10^3}{289.325,4 \cdot 10^3 [(1.854.650 - 34.038) \cdot 10]} = 19,53 \text{ дана}$$

$$MCRT = 19,53 \text{ дана}$$

Капацитет муљне пумпе

$$WSP = \frac{V_{ws} \cdot CT}{24 \cdot SPT} \quad (5.26)$$

где су:

WSP - капацитет муљне пумпе (l/мин)

SPT - време пумпања муља (мин/циклус)

$$WSP = \frac{34.038 \cdot 4}{24 \cdot 60} = 94,55 \left[\frac{l}{мин} \right]$$

$$WSP = 94,55 \left[\frac{l}{мин} \right]$$

Стварни кисеоника неопходан за оксидацију BOD

$$AOR1 = A \cdot [Q \cdot U \cdot (BOD_{in} - BOD_{out}) - (2,9 \cdot 0,5 \cdot \Delta N)] \quad (5.27)$$

где су:

AOR1- стварни кисеоника потребан за оксидацију BOD (g/дан/резерв.)

A=0,5 - кисеоник/BOD уклоњен

Q - проток(l/дан/резерв.)

U=1,5-однос крајњег BOD према BOD

BOD_{in} - концентрација BOD на улазу (mg/l)

BOD_{out} - концентрација BOD на излазу (mg/l)

2,9 = (mg кисеоник/mg NO₃N денитрификација)

0,5 = фракција азотне денитрификације

$$\Delta N = [(NH_{3in} - NH_{3out}) - ((BOD_{in} - BOD_{out}) \cdot Y \cdot N_s)] \cdot Q$$

$$\Delta N = 42.809,97913 \left[\frac{\frac{g}{дан}}{резерв.} \right]$$

$$AOR1 = 0,5 \cdot [1.854,65 \cdot 1,5 \cdot (250 - 10) - (2,9 \cdot 0,5 \cdot 42.809,97913)]$$

$$AOR1 = 302.799,76 \left[\frac{\frac{g}{дан}}{резерв.} \right]$$

$$AOR2 = \frac{B \cdot M_{bio} \cdot 0,7 \cdot TA}{24} \quad (5.28)$$

где су:

AOR2- стварни кисеоник потребан за респирацију (g/дан/резерв.)

B- mg кисеоника/mg MLVSS/дан

M_{bio}-маса биомасе (g/резерв.)

0,7- однос (MLVSS/MLSS)

TA=12 –време аерације (h/дан)

$$AOR2 = \frac{0,07 \cdot 6.006.644 \cdot 0,7 \cdot 12}{24}$$

$$AOR2 = 147.162,7 \left[\frac{g}{дан} \right]$$

$$AOR3 = 4,6 \cdot \Delta N \quad (5.29)$$

где је:

AOR3- стварни кисеоник за ТКН оксидацију(g/дан/резерв.)

$$AOR3 = 4,6 \cdot 42.809,978 = 196.925,89 \left[\frac{g}{дан} \right]$$

$$AOR3 = 196.925,89 \left[\frac{g}{дан} \right]$$

$$AOR = AOR1 + AOR2 + AOR3 \quad (5.30)$$

$$AOR = 302.799,76 + 147.162,7 + 196.925,89 = 646.888,35 \left[\frac{g}{дан} \right]$$

$$AOR = 646.888,35 \left[\frac{g}{дан} \right]$$

$$SOR = \frac{AOR \cdot C_{sw}}{\alpha \cdot (\beta \cdot C_{sw} \cdot \frac{C_{st}}{C_s} \cdot \frac{P_{site}}{P_{std}} - DO) \cdot \theta^{(T_{site}-20)}} \quad (5.31)$$

где су:

SOR- стандардна потреба за кисеоником (g/дан/резерв.)

Cs = 9,17-растворени кисеоник у стандардним условима(mg/l) [29]

alpha= 0,6-алфа фактор [29]

beta= 0,95 -бета фактор [29]

Cst= 8,38-растворени кисеоник на температури воде (mg/l)

Psite-атмосферски притисак (bar)

P_{std} -притисак у стандардним условима (bar)

DO = 2-преостала концентрација раствореног кисоника(mg/l)

$\theta=1,024$ -температурни коефицијент

$T_{site}=25$ - температура воде ($^{\circ}C$)

$$C_{sw} = C_s \cdot \left[\frac{P_{std} - P_{vap} + (De \cdot AAD \cdot \rho)}{P_{std} - P_{vap}} \right] \quad (5.32)$$

где су:

C_{sw} - засићена концентрација кисеоника (mg/l)

$P_{vap}= 0,031694$ -притисак водене паре на температури воде (bar)

$De=0,3$ -фракција у дубини ефективног засићења

$AAD=3$ - просечна дубина аерације (m)

ρ - густина воде (kg/m^3)

$$C_{sw} = 9,17 \cdot \left[\frac{1,01352 - 0,03171 + (0,3 \cdot 3 \cdot 1000)}{1,01352 - 0,03171} \right] = 9,25 \left[\frac{mg}{l} \right]$$

$$C_{sw} = 9,25 \left[\frac{mg}{l} \right]$$

$$SOR = \frac{646.888,35 \cdot 9,25}{0,6 \cdot (0,95 \cdot 9,25 \cdot \frac{8,38}{9,17} \cdot \frac{1,01697}{1,01352} - 2) \cdot 1,024^{(25-20)}} = 1.463.011,55 \left[\frac{g}{дан} \right]$$

$$SOR = 1.463.011,55 \left[\frac{\frac{g}{дан}}{резерв.} \right]$$

Ако $\frac{SOR}{BODLoad} < 1,6$ користи се као однос. У супротном, користи се:

$$\frac{SOR}{BODLoad} = \frac{1.463.011,55}{463.713} = 3,15 \quad (5.33)$$

Дакле, однос је 3,15:

$$\text{Пројектовани } SOR = BODLoad \cdot 3,15 \quad (5.34)$$

$$\text{Пројектовани } SOR = 1.460.695 \left[\frac{\frac{g}{\text{дан}}}{\text{резерв.}} \right]$$

Максимална дубина аерације

За суво време:

$$MAD_{pd} = \frac{PDWF \cdot [(CT \cdot 60) - (DT + ST)]}{1440 \cdot BA} + BWL \quad (5.35)$$

где су:

MAD_{pd} - максимална дубина аерације (m)

PDWF - проток када је суво време (m³/дан)

CT = 4 - нормално време циклуса (h)

DT = 60 - време одливања (мин.) [29]

ST = 60 - време таложења (мин.) [29]

1440 - коефицијент конверзије (мин./дан)

BA - површина резервоара (m²)

BWL - доњи ниво воде (m)

$$MAD_{pd} = \frac{2.838,75 \cdot [(4 \cdot 60) - (60 + 60)]}{1440 \cdot 460} + 2,96 = 3,47[m]$$

$$MAD_{pd} = 3,47[m]$$

За кишовити период:

$$MAD_{pw} = \frac{PWWF \cdot [(SCT \cdot 60) - (SDT + SST)]}{1440 \cdot BA} + BWL \quad (5.36)$$

где су:

MAD_{pw} - максимална дубина аерације за кишовит период (m)

$PWWF$ - проток када је влажно време ($m^3/дан$)

$SCT = 4$ - време циклуса за кишовит период (h) [29]

$SDT = 45$ – време одливања за кишовит период (мин.) [29]

$SST = 45$ -време таложења (мин.) [29]

$$MAD_{pw} = \frac{7.570 \cdot [(3 \cdot 60) - (45 + 45)]}{1440 \cdot 460} + 2,96 = 3,98 \approx 4[m]$$

$$MAD_{pw} = 4 [m]$$

$$MAD = 4 [m] \quad (5.37)$$

Проток ваздуха

$$SCFM_{pro} = \frac{SOR}{\rho_v \cdot OTE \cdot TA \cdot Opw \cdot 60} \quad (5.38)$$

где су:

$SCFM_{pro}$ – захтевани проток ваздуха ($m^3/мин.$)

ρ_v = густина ваздуха = 1.201,40 (g/m^3)

$TA=12$ -време аерације (h/дан) [29]

$Opw=0,232$ -део кисеоника у ваздуху по маси [29]

$$SCFM_{pro} = \frac{1.460.695}{1.201,40 \cdot 0,181149 \cdot 12 \cdot 0,232 \cdot 60} = 40,18 \left[\frac{m^3}{мин.} \right]$$

$$SCFM_{pro} = 40,18 \left[\frac{m^3}{мин.} \right]$$

$$SCFM_{mix} = 0,0381 \cdot BA \quad (5.39)$$

где су:

$SCFM_{mix}$ -мешавина протока ваздуха ($m^3/мин.$)

0.0381-препоручен коефицијент (m²/резервоар) [29]

$$SCFM_{mix} = 0,0381 \cdot 460 = 17,52 \left[\frac{m^3}{мин.} \right]$$

$$SCFM_{mix} = 17,52 \left[\frac{m^3}{мин.} \right]$$

Капацитет компресорске јединице

BUC је већи од захтеваног процеса мешања ваздуха и капацитета ваздуха:

$$SCFM_{pro} = 40,18 \left[\frac{m^3}{мин.} \right]$$

$$SCFM_{mix} = 17,52 \left[\frac{m^3}{мин.} \right]$$

Користи се један компресор по резервоару.

$$BUC = 40 \left[\frac{m^3}{мин.} \right] \quad (5.40)$$

Максимална снага компресора

$$BHP_{max} = \frac{BUC \cdot PSIG}{\eta_k} \quad (5.41)$$

где су:

BHP_{max}- максимална снага компресора (kW)

PSIG- компресорски притисак (Pa) (усвојено 0,5 bar) [29]

η_к=0,75- степен корисности компресора

$$BHP_{max} = \frac{40 \cdot 0,5 \cdot 10^5}{0,75 \cdot 60} = 44,4 kW$$

6. Закључак

У Србији је 2002. године имало 37 санитарних постројења за третман отпадних вода, од тога 7 за примарни третман и 30 за секундарне и биолошке третмане. Већи градови као што су Београд, Нови Сад и Ниш су до 2007. године испуштали отпадне воде у реципијент без предходног третмана. Ово је посебно опасно када се узму у обзир индустријске отпадне воде које по свом саставу могу битно утицати на здравље становништва, поремећај водених екосистема и сл. До данашњег дана ситуација се у Србији знатно променила, поштравањем законске регулативе све се више обраћа пажња на заштиту животне средине. Све већи број градова користе системе за пречишћавање отпадних вода.

SBR процес представља врло прилагодљив процес. Наиме, време трајања, концентрација кисеоника и време мешања се може прилагођавати потребама постројења. Прерада и одвајање врсте биомасе унутар једног базена може представљати повољност овог процеса. Аерација и одливање су једни од параметара важности за исправан рад ових постројења, такође од важности је и сам кисеоник који треба лако и брзо да дође до микроорганизама. Мора да се води рачуна о плутајућим материјама. Као резултат свега наведеног, ако су испуњени одређени оквирни услови овај процес подразумева мање трошкове изградње у поређењу са конвенционалним процесом са активним муљем.

SBR системи добро подносе дневне варијације хидрауличног протока и концентрације загађивања, али се мора водити рачуна о количини активног муља, односно, да не дође до појаве недостатка активног муља при повећању оптерећења.

Код SBR система нема појаве непријатних мириса, док у поређењу са једностепеним RBC системом то је неизбежно.

SBR процес има веома висок степен пречишћавања и до 99% а нарочито је ефикасан при уклањању азота. Процес пречишћавања се аутоматски прилагођава на стварни доток отпадне воде.

Недостатак може представљати сложеност процеса где је присутна знатна аутоматизованост система. Такође, мора се водити рачуна о одговарајућој аерацији и претакању повратног муља, што се постиже аутоматизованом праћењу параметара циклуса.

Литература

[1] <http://www.apeiron-uni.eu/centar/radovipdf/specijalisticki/novi/jovanovic.pdf>
(приступљено: 20.05.2013.)

[2] http://www.zdravlje.gov.rs/tmpmz-admin/downloads/zakoni1/zakon_o_vodama.pdf
(приступљено: 01.06.2013.)

[3] Марко Јовановић, Моделирање и симулација рада биолошког третмана отпадних вода, дипл. рад, Крагујевац, 2010. год.

[4] <http://share.pdfonline.com/2db8d025a2224d0bb11da99db22aaae5/Ss.htm>
(приступљено: 12.08.2013.)

[5] http://sh.wikipedia.org/wiki/Sistemi_za_obradu_otpadnih_voda
(приступљено: 15.09.2013.)

[6] <http://www.scribd.com/doc/43326418/Koagulacija-i-Flokulacija>
(приступљено: 16.09.2013.)

[7] <http://www.xl-australia.com/mbr.php>
(приступљено: 18.09.2013.)

[8] <http://www.vanis.hr/Vanis-Inzenjering/MBR-uredjaj%20za%20prociscavanje%20otpadnih%20voda.htm>
(приступљено: 18.09.2013.)

[9] http://en.wikipedia.org/wiki/Upflow_anaerobic_sludge_blanket_digestion
(приступљено: 19.09.2013.)

[10] <http://www.sswm.info/category/implementation-tools/wastewater-treatment/hardware/semi-centralised-wastewater-treatments/u>
(приступљено: 21.09.2013.)

[11] <http://www.sswm.info/category/implementation-tools/wastewater-treatment/hardware/semi-centralised-wastewater-treatments-0>
(приступљено: 25.09.2013.)

[12] http://www.pbc.co.rs/bioloska-prerada/Biodisks_General_Information-Serbian.pdf
(приступљено: 30.09.2013.)

[13] Драган Цветковић, Вања Шуштершич, Упоредни преглед карактеристика ротационих биодискова и секвенцијалних шаржних реактора за третман комуналних отпадних вода, Водопривреда, бр. 44, стр. 258-260, 2012. год.

[14] http://ccd.uns.ac.rs/aus/tus/doc/TUS%20predavanja%202011_06.pdf
(приступљено:05.10.2013.)

[15] <http://www.bironeptun.co.rs/files/documents/SBR.pdf>
(приступљено:08.10.2013.)

[16] <http://www.rpi.edu/dept/chem-eng/Biotech-Environ/Environmental/Steps/EnvSysSBR.html>
(приступљено:08.10.2013.)

[17] Младен Јосијевић, Постројење за пречишћавање отпадних вода у индустрији пива помоћу конвенционалног шаржног реактора, семинарски рад, Крагујевац, 2011. год.

[18] Драган Цветковић, Милан Деспотовић, Примена SBR система у пречишћавању комуналних отпадних вода са параметарским моделом постројења, Водопривреда, бр. 43, стр.249-257, 2011.год.

[19] http://ce.carmodyuk.com/upload/files/EPA_TFS_ATU-Sequencing%20Batch%20Reactor.pdf
(приступљено:27.10.2013.)

[20] <http://www.ecosystems.co.rs/katalozi/SBR%20mini.pdf> (приступљено: 28.10.2013.)

[21] <http://www.ecosystems.co.rs> (приступљено: 30.10.2013.)

[22] http://www.premiertechaqua.com/en/download/files/25%20Promotional%20documents/00%20Products/05%20Decentralized%20and%20Municipal/25%20EcoprocessSBR_EN.pdf
(приступљено: 30.10.2013.)

[23] <http://www.waterworld.com/articles/print/volume-29/issue-6/editorial-features/sequencing-batch-reactor-when-size-does-matter.html> (приступљено: 30.10.2013.)

[24] http://www.water.siemens.com/SiteCollectionDocuments/Product_Lines/Jet_Tech_Products/Brochures/JT-IMTT-CS-0109.pdf (приступљено: 30.10.2013.)

[25] <http://www.ic-systems.co.rs/Reference/Reference-vodovod-kanalizacija.html> (приступљено: 30.10.2013.)

[26] <http://www.carnex.rs/files/documents/Ecology/rad-subotica.pdf> (приступљено: 30.10.2013.)

[27] http://www.carnex.rs/odnosi_s_javnoscu/vesti/zapoceto_preciscavanje_otpadnih_voda_im_carnex/ (приступљено: 30.10.2013.)

[28] Зорана Науновић, Најбоље доступне технологије за пречишћавање отпадних вода, Грађевински факултет Универзитета у Београду, катедра за хидротехнику и водно-еколошко инжењерство, 2009. год.

[29] Patrick Mickle, Sequencing Bath Reactor, Design calculations, BOD Removal and Nitrification Process, Booneville, AR-4 MGD PWWF