

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Сања, М Јанковић

Биолошка филтрација

мастер рад

Крагујевац, 2013.

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: 306/2011

Сања, М Јанковић

Биолошка филтрација

мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Вања Шуштершич - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да прикаже преглед објеката и уређаја за биолошко пречишћавање отпадних вода, да објасни процесе са фиксираним биолошким филмом (биолошки филтри и ротациони биолошки контактори) и да уради пример прорачуна капајућег филтра и прикаже 3Д модел.

Препоручена литература:

- [1] Љиљана Мојовић: Биолошка обрада отпадних вода, Збирка решених задатака са теоријским основама, Технолошко - металуршки факултет, Београд, 2004.
- [2] Дејан Љубисављевић, Александар Ђукић, Бранислав Бабић: Пречишћавање отпадних вода, Грађевински факултет, Београд, 2004.
- [3] Мунир Б. Јахић: Пречишћавање загађених вода, Нови Сад, 1990

Крагујевац, септембар 2013.

ментор:

др Вања Шуштершич, ванр. проф.

Резиме

У овом раду реч је о биолошком пречишћавању воде, односно о биолошкој филтрацији отпадне воде. На почетку је дата подела и основне карактеристике отпадних вода, затим преглед технологија за њихову обраду и Директиве о водама, уопште. Акценат је стављен на процес биофилтрације, где су описани биофилтри и где је дата њихова подела и принцип рада. На крају је дат прорачун капајућег биофилтра и 3Д модел истог.

Кључне речи: Биолошка филтрација, отпадне воде, биофилтри, капајући филтер

Abstract

In this paper, it is a biological water purification and filtration of biological waste water. At the beginning of the given distribution and characteristics of wastewater, then the overview of technologies for processing and Directives the water at all. The emphasis is on the process of biofiltration, which are described in biofilters and where is their division and working principle. Finally, a calculation wiping a biological filter and a 3D model of it.

Keywords: Biological filtration, waste water, biofilters, drip filter

Садржај:

1. Увод.....	8
2. Отпадне воде	9
2.1. Подела отпадних вода.....	10
2.1.1. Домаће отпадне воде (комуналне)	10
2.1.2. Индустијске отпадне воде.....	11
2.1.3. Атмосферске воде.....	12
2.1.4. Пољопривредне воде.....	12
2.2. Карактеристике загађених (отпадних) вода.....	14
2.2.1. Хемијске карактеристике.....	14
2.2.2. Биолошке карактеристике	19
2.2.3. Физичке карактеристике	20
3. Директиве Европске уније из области заштите вода	22
4. Поступци обраде отпадних вода	24
4.1 Механичка - претходна обрада	25
4.2. Физичко-хемијска обрада.....	26
4.2.1. Коагулација и флокулација.....	26
4.2.2. Флотација	27
4.2.3. Адсорпција	27

4.2.4. Јонска измена	27
5. Објекти за биолошко пречишћавање отпадних вода	29
5.1 Конвенционално постројење.....	29
5.2. Степенасто додавање кисеоника	31
5.3. Модификована аерација	31
5.4. Високо оптерећено постројење.....	31
5.5. Степенасто додавање отпадне воде.....	31
5.6. Контактна стабилизација (био-сорпција)	32
5.7. Постројења са потпуним мешањем	33
5.8. Продужена аерација	34
5.9. Оксидациони јарак	34
5.10. Карусел.....	36
5.11. Комбинована постројења.....	37
5.12. Постројења са чистим кисеоником.....	37
6. Процеси и уређаји за биолошко пречишћавање отпадних вода	39
6.1 Биоаерациони базен	40
6.2. Секундарни таложник.....	42
6.3 Биолошки процеси	43
7. Процес биофилтрације	46
7.1 Процеси са фиксираним биолошким филмом.....	47
7.2 Биолошки филтри.....	47
7.3 Оптерећење и димензионисање биолошких филтара.....	52
7.4 Прокапници.....	54
7.5. Биолошки торњеви.....	58
7.6 Ротациони биолошки контактори (RBK).....	59
7.7 Проблеми експлоатације	62
8. Биолошка филтрација - прорачун	63
8.1. Капацитет биолошког филтра.....	63
8.2. Рециркулациони однос код биолошке филтрације	64
8.3. Хидрауличко оптерећење биофилтра.....	66
8.4. Органско оптерећење биофилтра	67

9. Пројектовање и математичко моделовање биолошке филтрације.....	69
10. Прорачун биолошког филтра.....	72
12. Литература.....	77

1. Увод

Питања заштите животне околине све више окупирају савременог човека, док информације о њеном стању и променама нису увек лако доступне. Посебно се недовољно говори о томе да ли и шта свако од нас као појединац или интересна група може да учини да се поједини негативни утицаји на животну средину зауставе или успоре. Еколошка свест гради се од тренутка када дете почне да схвата и проучава свет око себе. Утицај околине на ставове и личност појединца је неминован. Само здрава и еколошки образована околина може да омогући здрав опстанак будућих поколења. Формално еколошко образовање деца и омладина добијају кроз образовни систем, још увек крут и теоријски, без могућности искуственог учења. Природа, њене лепоте, тајне и потреба за њеним очувањем не може и не сме бити теорија, већ начин живљења, са јасном одговорношћу сваког младог човека. [1]

Колико је вода значајна говоре и подаци да: приступ здравствено безбедној води нема 1,7 милијарди људи широм света; на сваких 8 секунди умре једно дете од неке болести која је у вези са загађеном водом; најмање једна милијарда људи мора да хода три или више сата, да би дошли до пијаће воде и сл.

Технолошки развој у свету који је праћен и сталним порастом становништва довео је до повећане потребе и потрошње воде. Једна од најважнијих питања данашњице су квалитет воде и њена доступност. Стање вода у Србији представља резултат недовољних инвестиција, недовољне бриге о том ресурсу и несхватања његовог значаја.

У Србији данас постоји 434 градска система са више од 2000 ЕС на које се односе одредбе европске Директиве за примену секундарног поступка пречишћавања комуналних отпадних вода. Укупно комунално органско оптерећење без крупне индустрије за ова насеља (>2000 ЕС) износи 7,189.200 ЕС, док је укупно изграђено постројења са 956.000 ЕС или свега 13%. [9]

2. Отпадне воде



Слика 2.1: Отпадне воде [12]

Отпадне воде (слика 1.) представљају комплекс сложених једињења и често је само биолошким тестовима токсичности могуће утврдити токсичност комплексних отпадних вода и према томе одредити начин и обим пречишћавања. На тај начин се остварују велике уштеде код пројектовања и рада система за пречишћавање. Историјски гледано оне су биле велики проблем, а уједно и извор заразе и изазивачи великих епидемија. Средином 19-ог века, произведене отпадне воде у брзо развијајућим индустријским регијама и градовима испуштане су директно у реке и канале, као и у земљиште испод тоалета у двориштима оронутих квартова. [2]

Често, пумпа воде за пиће је била смештена одмах до тоалета. Дакле, није била чудна честа појава колере, посебно у великим градовима. Прикупљање отпадних вода у системе канала служио је сврси, али испуштање тих вода у реке није било решење проблема јер би износ испуштених вода био превелик у односу на стопу речног тока. У Берлину је још у 19. веку изграђен радијални систем за прикупљање отпадних вода, при чему су кишница и отпадне воде текле ка најнижој тачки помоћу гравитације, одакле је та вода пумпана уз помоћ цеви за наводњавање у поља ван града. До друге половине 19. века, уобичајена пракса је била отпуштање отпадних вода у реке и било је нормално да се заједнице које су се налазиле низводно сналазе са загађеном водом. Ови проблеми су драматично порасли како је почео индустријски развој у брзо растућим градовима. У циљу избегавања епидемија као што је колера и тифус, морали су се издати закони за третман и отпуштање отпадних вода. Посматрајући период од средине 19. века па до 80-их година 20. века, може се закључити да су научници имали великих проблема и превасходно изазова, како би прво детектовали пре свега узрочнике различитих болести и тровања, па тек онда да пронађу начине, поступке и средства за третман како индустријских, тако и комуналних

отпадних вода. Још у том времену је био препознат проблем са отпадним водама, па су се ти проблеми кроз време и развоју науке парцијално решавали, али се ни до данашњих дана нису у потпуности решили. Напредак је видљив самим доношењем Закона у тој области, који може и мора бити бољи. Рад на том пољу тек предстоји. [2]

Данас постоји знатан број метода и поступака за пречишћавање отпадних вода. Које ће од ових метода бити примењене зависи од низа чињеница. Прва је врста загађујућих супстанци и степен загађења. Други је квалитет пречишћене воде, тачније речено степен загађења који се може дозволити када се вода испушта у природни водоток. Ове дозвољене концентрације загађујућих супстанци у пречишћеној води зависне су од капацитета природне воде тј. од масе загађујућих агенаса коју вода у природи може да прими, а да не дође до последица које би утицале на организме који живе у њој, на тло са којима је вода у контакту и на човека. Капацитет водотока је такође величина зависна од низа чинилаца. Први од њих је количина природне воде, односно проток воде у реци. Од ових величина зависи до ког степена ће се разблажити загађујући агенси из отпадне воде када буду испуштани у реку. Ако је проток воде у реци велики, услед разблажења, концентрација загађујућих агенаса у њој може да буде испод дозвољене границе, међутим када је маса природне воде мања не постиже се потребно разблажење па зато отпадна вода мора да има већи степен пречишћавања. [1]

2.1. Подела отпадних вода

Природна или кондиционирана вода, пошто је једном искоришћена за одређену намену постаје употребљена или отпадна вода. Том приликом у њен састав улази мања или већа количина различитих примеса – загађивача, односно њене физичке, хемијске и биолошке карактеристике се у току употребе толико мењају да она постаје неподобна за ону употребу при којој је и настала.

2.1.1. Домаће отпадне воде (комуналне)

Домаћа отпадна вода представља водоводску воду или природну воду приближног квалитета која је употребљена за кување, прање или санитарне потребе у домаћинству. Поред минералних и органских материја које су већ биле присутне у води чијом је употребом ова отпадна вода и настала, она још садржи и значајне количине хуманих екскременти, папира, сапуна и других средстава за прање, отпадака од хране, минералних

отпадака и великог броја других отпадних материјала. Највећи део загађивача домаће отпадне воде ипак је органског порекла и, због своје високе енергетске вредности, подложен је деловању сапрофитних микроорганизама, односно микроорганизмима који се хране мртвим органским материјалом. Зато је ова отпадна вода подложна микробиолошкој разградњи, односно труљењу. Отуда она може имати врло непријатан мирис, на пример на сумпорводоник.

За домаће отпадне воде из читавог једног насеља или града, са малим или никаквим уделом индустријских отпадних вода, и које садрже и значајан удео отпадних вода из различитих установа и јавних институција, често се користи назив санитарне отпадне воде.

Уколико је за то насеље или град карактеристична и развијена индустријска производња и уколико се и индустријске отпадне воде (уз одређени степен обраде) испуштају у градску канализациону мрежу и мешају са домаћим, односно санитарним отпадним водама, онда се тако настала смеша назива комунална или градска отпадна вода.

Отпадне воде у чијем саставу доминирају хумани или животињски екскременти, а које углавном потичу из нужника, писоара, штала и слично, називају се фекалне отпадне воде. [4]

2.1.2. Индустријске отпадне воде

Индустријске отпадне воде обухватају све оне отпадне воде које не воде непосредно и искључиво порекло из домаћинства. Индустријске отпадне воде настају у фабрикама и индустријским погонима након употребе воде у процесу производње. Основна карактеристика ове групе отпадних вода је веома велика разноврсност састава.

Према укупној концентрацији загађивача, индустријске отпадне воде се могу поделити у три основне групе:

1. чисте воде (воде од хлађења), које најчешће садрже безначајне количине загађивача
2. мало загађене, које углавном настају при прању готових производа
3. загађене воде, које карактерише висок степен загађености, зависан од раније наведених фактора и које се зато морају подвргнути одређеном степену обраде.

Отпадне воде прве и друге групе се користе као повратне воде или за разблаживање загађених вода са високим концентрацијама загађивача. [3]

У зависности од природе и концентрације загађивача које садрже, индустријске отпадне воде могу се класификовати и на други начин:

1. отпадне воде са великим органским загађењем (прехрамбена индустрија, а посебно производња шећера),
2. отпадне воде са великим органским загађењем и значајном токсичношћу (производња целулозе, рафинерије нафте и друго),
3. отпадне воде са ниским органским загађењем и великом токсичношћу (металопрерађивачка, хемијска и рударска индустрија),
4. термички загађене отпадне воде (производња гвожђа и челика и термоенергетска постројења). [3]

2.1.3. Атмосферске воде

Атмосферске (кишне) воде се појављују повремено за време падавина или при топљењу снега и које најчешће нису значајније загађене. Оне, међутим, у току релативно кратког временског периода, и уколико се ради о такозваном комбинованом канализационом систему, могу представљати велико хидрауличко оптерећење за канализациону мрежу и само постројење за обраду комуналних отпадних вода.

Једини загађивачи ове врсте вода су инертне, минералне материје (прашина, песак, и слично), а у одређеним периодима године и суво лишће, те се оне најчешће могу без икакве претходне обраде испуштати директно у пријемне водотоке.[1]

Када је реч о атмосферским водама са локација појединих индустријских предузећа, показало се да оне могу бити значајније загађене и то углавном истим загађивачима као и индустријске отпадне воде тих истих предузећа. Овакве кишне воде морају се подвргнути одређеном степену обраде пре испуштања у водотокове. [4]

2.1.4. Пољопривредне воде

Пољопривредне отпадне воде су процедне и површинске воде, са земљишта где се примењују агротехничке мере и поступци, са сточних фарми...

Карактеристике пољопривредних отпадних вода су висока НРК, тврдоћа воде, садржај фосфора, нитрата и пестицида. Реч је о високом органском загађењу, са присутним органским материјама у таложном облику и садржају амонијака.

Табела 2.1. Опште карактеристике градских и индустријских отпадних вода [1]

Карактеристика	Комуналне отпадне воде	Индустријске отпадне воде
Настанак	Настају као резултат кућне делатности и физиолошких излучевина људи	Настају у технолошким процесима производње, услед транспорта отпадака и губитака сировина и реагенса
Количина	Зависи од потрошње воде у насељима за санитарне и физиолошке потребе	Зависи од потрошње воде у технолошким процесима, може значајно варирати
Режим испуштања	Зависи од типа и карактеристика насеља, степен неравномерности ограничен	Веома различит, у зависности од карактеристика технолошког процеса
Физичке карактеристике	Приближно константне	Веома различите, у зависности од врсте индустрије
Хемијске карактеристике	Приближно константне, преовлађују органске материје	Могу бити веома различите
Суспендоване материје	Приближно константан садржај и карактеристике	Веома различит садржај и карактеристике
pH вредност	Неутрална или слабо базична	Веома различита, варира од веома киселе до веома базичне
Токсичност	Није изражена	Може се јавити у високом степену
Варијација карактеристика	Није значајна, а варијације у концентрацијама последица су потрошње воде	Веома изражена, сличан састав отпадних вода може се наћи код индустрија истог или сличног типа
Хигијенски значај	Увек опште санитарни, већином епидемиолошки	Увек опште санитарни, често токсиколошки, изузетно епидемиолошки
Методе пречишћавања	Углавном увек биолошке методе	Веома различите-механичке, физичко-хемијске, биолошке

2.2. Карактеристике загађених (отпадних) вода

Загађивачи воде могу бити:

- (1) хемијски (киселине, алкалије, разне соли, пестициди, детерџенти, феноли и др.),
- (2) биолошки (бактерије, вируси, алге, фекалије, лигнини и др.) и
- (3) физички (топлота, боја, мирис, радиоактивност, суспендоване чврсте материје, песак, муљ и сл.).

Загађење воде може бити минералног, органског или мешовитог порекла. У минерална загађења спадају песак, глина, растворене минералне соли, киселине, базе и др. Органска загађења могу бити биљног, људског или животињског порекла. Загађења у води се јављају у облику раствора, колоида и суспензија. Садржај појединих материја у загађеној води најчешће се изражава у mg/l. [5]

2.2.1. Хемијске карактеристике

Разликујемо низ хемијских карактеристика отпадних вода. Детаљније ће се размотрити само садржај органских материја, а укратко још неке важније. Наравно у зависности од порекла отпадне воде, нарочито када је о индустријским отпадним водама реч, најважнија може да буде и нека друга хемијска карактеристика, на пример неки од тешких метала, поједина токсична органска једињења (феноли, пестициди, и слично), површински активне материје, итд. [3]

Органске материје

Свакако најзначајнија хемијска карактеристика отпадне воде је садржај органских материја. При томе се по правилу одређује укупан садржај, а ређе се анализа обавља на поједине групе органских материја (феноли на пример) или на специфична органска једињења (на пример пестициди). Како је најважније знати који је део органске материје биоразградљив аеробном микрофлором водотокова у који се отпадне воде испуштају (јер се на тај начин троши растворени кисеоник из воде што угрожава рибе и остали живи свет водотокова), то се обично одређује „биохемијска потрошња кисеоника” (ВРК). Као мера органских материја које могу да буду биолошки оксидисане одређује се „хемијска потрошња кисеоника” (НРК) и „укупни органски угљеник” (ТОС, од *Total Organic Carbon*). [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. На пример, биолошка реакција оксидације гликозе завршава се након потрошње 150 g O_2 по молу гликозе, док НРК вредност износи 192 g O_2 по молу гликозе.

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). Потребна количина кисеоника пропорционална је присутној количини органских материја.

У табели 2.2. дат је приказ вредности ВРК за неке непречишћене индустријске воде. [1]

Табела 2.2. Вредност ВРК за неке непречишћене индустријске воде [1]

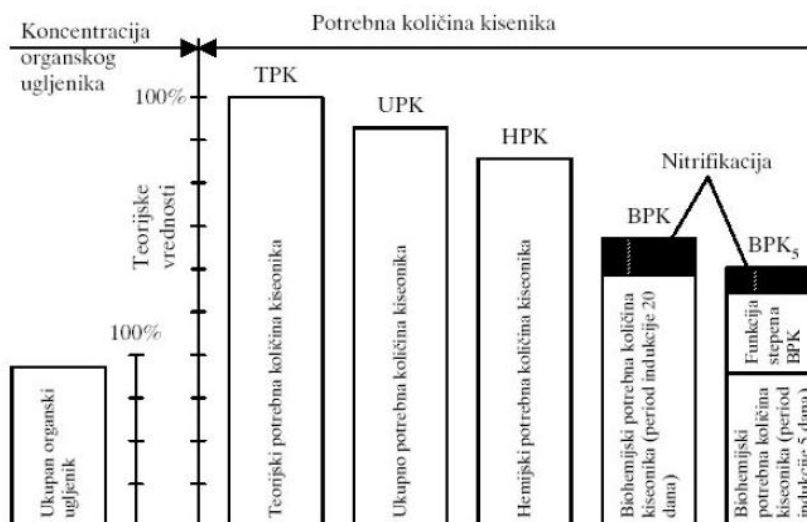
Отпадна вода	ВРК, mg/l
Из домаћинства	350
Сулфитна лужина из производње папира	20000-45000
Из производње пива:	
после издвајања остатка јечма	15000
после издвајања остатка хмеља	7430
од прања боца	550
Џибра из производње алкохолних пића	10000-25000
Џибра из производње етанола	10000-25000
Из производње квасца	3000-14000
Из производње пеницилина:	

влажан мицелијум после филтрирања	4000-40000
филтрат	2150-10000
после испирања	210-13800
Из производње стрептомицина	2450-5900

Хемијски потребна количина кисеоника (НПК)

Хемијски потребна количина кисеоника (НПК) и укупно потребна количина кисеоника (УПК) су такође показатељи концентрације органских компонената (слика 2). НПК је хемијски потребна количина кисеоника за оксидацију органских компонената и неорганских соли, и представља показатељ загађености отпадних вода. НПК се најчешће изражава потрошњом O_2 у mg/l.

Најбољи показатељ концентрације органских компонената је теоријска вредност НПК, која одговара количини кисеоника потребној за оксидацију органског угљеника. Одређује се на основу стехиометријских једначина реакција оксидације. НПК карактерише оксидација компонената само у CO_2 , H_2O и NH_3 . [1]



Слика 2.2. Приказ метода мерења концентрација органских компонената [1]

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 укупаног органског угљеника не зависи од степена оксидисаности органских материја (за разлику ВРК и НРК), 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. [1]

Протеини, угљени хидрати, уља и масти

Сем познавања укупног садржаја органских материја у отпадној води може бити од значаја да се сазнају удели неких од најважнијих група органских једињења: протеина, угљених хидрата, уља и масти, с обзиром на њихов различити утицај на екосистем и на различито понашање приликом пречишћавања. Тако су на пример, протеини (заједно са уреом) најважнији извор азота у водотоковима, а у процесу њихове разградње често настају веома непријатни мириси, угљене хидрате често карактерише веома различита биоразградљивост (шећери се брзо разграђују, целулоза веома споро), уља и масти су обично тешко биоразградљиви, а познато је да уља стварају танак слој (филм) на површини водотокова чиме, отежавајући унос кисеоника, угрожава живи свет у води. [1]

Специфична органска једињења: површински активне материје, пестициди, феноли

Отпадне воде, у зависности од порекла, могу да садрже веома различита органска једињења, од којих су површински активне материје, пестициди и феноли само типични представници. Број тих органских материја је, упоредо са развојем индустрије и поваћаног стандарда све већи. Многе од њих су споро биолошки разградиве или чак неразградиве, а често и веома токсичне, тако да њихово испуштање са отпадним водама драстично нарушава живи свет реципијента, а тешко их је уклонити биолошким поступцима пречишћавања. Површински активне материје (у највећој мери пореклом из детергента) изазивају пењење на површини водотока отежавајући унос кисеоника, као и пењење у уређајима за пречишћавање. Пестициди и хербициди доспевају у реципијенте спирањем са пољопривредних површина, веома су токсични за живи свет и у води значајно смањују

(због контаминираности) употребну вредност такве воде, а токсични су и за радну микрофлору биолошких поступака пречишћавања. И феноли веома негативно утичу на употребну вредност воде реципијента, поготово ако се таква вода хлорише јер настају хлорфеноли су веома непријатног мириса. [1]

Неорганске материје

Укупан садржај неорганских материја у отпадним водама (изузимајући ефлуенте појединих фабрика или погона) је толико ретко да би захтевало његово генерално уклањање, али зато поједине неорганске материје негативно утичу на реципијенте и морају се уклањати пречишћавањем. [1]

Растворени гасови

Загађена вода садржи различите гасове: кисеоник, угљен-диоксид, азот, сумпорводоник и др. Кисеоник који се налази растворен у води за пиће тако доспева у канализацију, а један део кисеоника се добија контактом ваздуха и површине загађене воде као и процесом фотосинтезе. Загађена вода често садржи и угљендиоксид који настаје у процесу декомпозиције органских материја, затим азот из атмосфере, сумпордиоксид који настаје декомпозицијом органских и неких неорганских сумпорних једињења. Ови гасови, мада се налазе у малим количинама, имају важну улогу у декомпозицији и третирању чврстих материја. [5]

Азот, фосфор, сумпор

Азот и фосфор спадају у најважније биогене елементе, те њихово значајније уношење са отпадним водама изазива прекомеран раст воденог биља и такозвану еутрофикацију („забаривање”) водотокова. 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, а у зависности од форме различит је и негативан утицај на реципијент: амонијак је изразитог и непријатног мириса, повећане концентрације нитрата у води су веома штетне по здравље деце, итд. Сумпор се из сулфата којих има веома често у већим концентрацијама у појединим отпадним водама, редукује у анаеробним условима (какви често владају у канализационим условима и у муљу на дну водотокова) до водониксулфида, H_2S , који је изразито непријатног мириса и веома токсичан, а настали H_2S се може оксидовати до веома корозивне сумпорне коселине. [1]

pH, алкалитет, киселост

Веома важна карактеристика отпадне воде је и њена pH вредност, јер ће екстремни pH отпадне воде, било висок било низак, отежати њено биолошко пречишћавање и негативно утицати на живи свет реципијента у који би се таква непречишћена отпадна вода испустила. Док је pH квалитативни показатељ, садржај алкалија/киселина (тзв. титрациони алкалитет/киселост) је квантитативни показатељ, неопходан у процесима хемијске обраде воде. [1]

Тешки метали, токсичне супстанце

У појединим индустријским отпадним водама, налазе се недозвољено велике концентрације тешких метала (олово, кадмијум, хром, жива, итд) који су токсични и чијим доспевањем у реципијент се употреба тако контаминиране воде доводи у питање. У отпадним водама у зависности од порекла, среће се читав низ токсичних супстанци као што су: цијаниди, хлорована органска једињења, итд. За поједине отпадне воде (на пример из неких погона металопрерађивачке индустрије, производње боја и лакова, итд.) морају се идентификовати токсичне материје и одредити тачне концентрације како би се дефинисао најбољи начин пречишћавања односно утврдиле штете које настају испуштањем таквих отпадних вода у реципијенте. [1]

2.2.2. Биолошке карактеристике

Биологија отпадних вода је изузетно сложена област. За утврђивање квалитета отпадних вода пре и после пречишћавања (и за успешан рад биолошких поступака пречишћавања) морају се знати и одређене биолошке карактеристике.

Микробиолошка испитивања

За утврђивање тзв. санитарног квалитета воде, мора се знати који индикаторски микроорганизми и у ком броју се налазе у води. У првом реду се то односи на патогене микроорганизме, изазиваче тешких заразних болести (тифуса, колере, и сл.) на чије присуство су индикатори колиформне бактерије, те фекалне стрептококе које изазивају фекално загађење. [1]

Биолошка испитивања

Она се користе у првом реду да би се утврдила токсичност отпадне воде на био свет водотокова, 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. За биолошке тестове се користе одређене групе организама: планктон, алге, рибе, итд. [1]

2.2.3. Физичке карактеристике

У најзначајније физичке карактеристике отпадних вода спадају: 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

Најважнија физичка карактеристика отпадних вода је свакако садржај суве материје (СМ), која се дефинише као остатак након сушења узорка на 103 - 105 °С, при чему на овај начин нису обухваћени састојци са ниском тачком кључања. Филтрацијом преко мембране одговарајућег пречника пора, обично 0.45 μm , сува материја се раздваја на суспендоване честице са пречницима од око 1 μm и већим, и филтрат који чине колоидне честице и раствор (органски и неоргански молекули и јони растворени у води). Обично се посебно одређује фракција суспендованих честица која се лако таложи и та фракција је приближна мера количине талоба (муља) која би доспела у реципијент и која се уклања у уређајима за таложење. [1]

Боја

На основу боје може се грубо проценити стање отпадне воде. Тако су „свеже” отпадне воде обично сиве боје (отпадне воде појединих индустрија могу имати сасвим другу боју), док код „одлежалих” отпадних вода, након утрошка целокупног раствореног кисеоника деловањем аеробних микроорганизама и након настанка анаеробних (септичких) услова, боја прелази у црну. [1]

Мирис

Мирис је карактеристика отпадне воде на коју су људи најосетљивији. Обично мирис отпадне воде потиче од гасова који настају у процесу распада органске материје (неке индустријске отпадне воде имају мирис који је карактеристика технолошког процеса од кога потичу). На пример, карактеристичан мирис септичких отпадних вода (на покварена јаја) потиче у највећој мери од водоник-сулфида који настаје у анаеробним условима микробиолошком редукцијом сулфата. [1]

Температура

Температура отпадне воде је значајна карактеристика јер утиче на биосвет водотокова у које се испуштају такве, загрејане, отпадне воде, првенствено зато што се на вишим температурама растворљивост кисеоника у води смањује. [1]

3. Директиве Европске уније из области заштите вода

Директиве Европска уније из области заштите вода су:

- **Оквирна директива о водама 2000/60/ЕЦ**

Оквирну директиву о водама (2000/60/ЕЦ) је усвојио Парламент и Савет Европске уније 23. октобра 2000. године. Ова директива је највиши акт везан за воде у ЕУ. Општи циљ ове директиве са аспекта заштите животне средине је постизање „статуса добре воде“ у читавој ЕУ до 2015. године и одржавање тог статуса на даље. Директива је ступила на снагу 22. децембра 2000. године. [10]

- **Директива 91/271/ЕЕЦ о пречишћавању комуналних отпадних вода и њена допуна Директива 98/15/ЕЦ**

Ова Директива се односи на скупљање, пречишћавање и испуштање урбаних отпадних вода и пречишћавање и испуштање отпадних вода из одређених индустријских сектора. Циљ Директиве је заштита животне средине од неповољних утицаја испуштања отпадних вода. [9]

- **Директива 91/676/ЕЕЦ о заштити вода од загађивања узрокованог нитратима из пољопривредних извора**

Ова Директива има за циљ: смањење загађивања воде узрокованог или подстакнутог нитратима из пољопривредних извора и спречавање даљег таквог загађивања. [10]

- **Директива 86/278/ЕЕЦ о заштити животне средине, а посебно земљишта при коришћењу канализационог муља у *пољопривреди**

Циљ ове Директиве је да уреди примену канализационог муља у пољопривреди на такав начин да се спрече штетни утицаји на земљиште, вегетацију, животиње и човека, подстичући при томе правилну употребу тог канализационог муља. [10]

- **Директива 76/464/ЕЕЦ о граничним вредностима за испуштање опасних супстанци у воде**

Ова Директива се примењује на: копнене површинске воде, територијалне воде, приобалне и подземне воде. [10]

- **Директива 80/68/ЕЕЦ о заштити подземних вода од загађивања**

Сврха ове Директиве је да спречи загађивање подземне воде супстанцама које припадају фамилијама и групама супстанци са листа I или II из Анекса, означене надаље као

“супстанце са Листе I или II” и, колико је то могуће, да контролише или елиминише последице загађења које се већ десило. [10]

- Директива 96/61/ЕЕЦ о интегралном спречавању и контроли загађивања

Сврха ове Директиве је постизање интегрисаног спречавања и контроле загађења до кога долази због активности наведених у Анексу I. Овом Директивом прописују се мере предвиђене за спречавање или, када то није практично остварљиво, за смањење емисија у ваздух, воду и земљиште, до којих долази због напред наведених активности, укључујући и мере које се односе на отпад, у циљу постизања високог нивоа заштите животне средине посматране у целини, и без штете по Директиву 85/337/ЕЕЦ и по друге релевантне прописе које је донела Заједница. [10]

На основу систематизације и анализе обимне домаће и стране документације и обављених консултација, дефинисана су основна начела на којима се мора заснивати савремен закон о водама:

1. вода је јавно добро над којим се, под условима утврђеним законом, може стећи право коришћења;
2. вода је обновљиво добро због чега њеном коришћењу треба дати предност у односу на необновљиве ресурсе, али није неисцрпан ресурс, због чега је неопходно вршити заштиту њеног квантитета и квалитета;
3. вода је распоређена неравномерно у времену и простору, а ублажавање неповољних последица неравномерности захтева значајна улагања у изравнање вода (изградња брана са акумулацијама и инфилтрација у подземне издани) и транспорт вода у области већих потреба (превођење вода);
4. планирање у области вода и управљање водама се мора вршити интегрално на нивоу слива, како би трошкови по јединици планираних ефеката били што нижи, а ресурс се заштитио од деструктивног деловања човека;
5. коришћење и употреба расположивих водних ресурса морају бити рационални, уз ослањање на сопствене снаге у домену штедње и заштите вода и уважавање интереса свих корисника, при чему снабдевање водом становништва и одржавање екосистема имају приоритет;
6. вода има економску вредност те је потребно: обезбедити стабилно финансирање, достићи у периоду од неколико година реалне цене воде и услуга везаних за воде (принцип "корисник плаћа"), којима се обезбеђује погон и одржавање објеката и система и развој, обезбедити да загађивачи плаћају реалне трошкове пречишћавања отпадних вода (принцип "загађивач плаћа");
7. сваки захват у воде мора се вршити у складу са Законом о водама.

Основна начела су уграђена у текст новог Закона о водама, као предуслов за реализацију утврђених циљева. [11]

4. Поступци обраде отпадних вода

Нема јединственог система обраде отпадних вода, јер свака од тих вода има посебне карактеристике. За пречишћавање отпадних вода могу се користити следећи поступци:

- Механичка претходна обрада,
- Физичко-хемијска обрада,
- Биолошка обрада.

У табели 4.1, су дате најбоље доступне технологије за пречишћавање отпадних вода:

Табела 4.1: Преглед најбоље доступне технологије за пречишћавање граских отпадних вода [13]

Капацитет постројења			
До 1000 ЕС	1000-10 000 ЕС	10 000-50 000 ЕС	Већи од 50 000 ЕС
ПРИМАРНА-МЕХАНИЧКА ФАЗА (1)			
-Цеђење кроз решетку: <i>груба решетка фина решетка</i>	-Цеђење кроз решетку: <i>груба решетка фина решетка</i>	-Цеђење кроз решетку: <i>груба решетка фина решетка</i>	-Цеђење кроз решетку: <i>груба решетка фина решетка</i>
-Цеђење кроз сито <i>перфорација изнад 2мм</i>	-Цеђење кроз сито <i>перфорација изнад 2мм</i>	-Цеђење кроз сито <i>перфорација изнад 2мм</i>	-Цеђење кроз сито <i>перфорација изнад 2мм</i>
-Примарно таложење <i>двоспратна таложница</i>	-Одвајање песка <i>гравитационо</i>	-Одвајање песка <i>гравитационо аерирани песколов аерирани песколов- хватач масноћа</i>	-Одвајање песка и масноћа (комбиновано) <i>гравитационо аерирани песколов аерирани песколов- хватач масноћа</i>
	-Одвајање масноћа <i>гравитационо</i>		
		-Одвајање песка <i>гравитационо аерирани песколов аерирани песколов- хватач масноћа</i>	-Примарно таложење

СЕКУНДАРНА- БИОЛОШКА ФАЗА (2)			
До 1000 ЕС	1000-10 000 ЕС	10 000-50 000 ЕС	Већи од 50 000 ЕС
- Поступци на основу природних процеса (екстензивни процеси) <i>природне лагуне мокра поља</i>	-Поступци са фиксираним биомасом <i>ротациони и биолошки контактори са више јединица</i>	-Поступци са фиксираним биомасом <i>биолошки филтри (ниско, средње, високо оптерећени)</i>	- Поступак са активним муљем са нитрификацијом <i>двостепени поступци (високо оптерећени-</i>

<i>разливање по земљишту</i>	<i>биолошки филтри (нискооптерећени)</i>	<i>двостепени биолошки филтри (високо и ниско оптерећени)</i>	<i>ниско оптерећени)</i>
-Поступци са фиксираном биомасом <i>ротациони биолошки контактори</i> <i>биолошки филтри (нискооптерећени)</i>	-Поступци са активним муљем <i>аериране лагуне</i> <i>тотална оксидација</i>	-Поступци са активним муљем <i>тотална оксидација</i> <i>са нитрификацијом</i>	
-Поступци са активним муљем <i>(тотална оксидација)</i> <i>аеробно-анаеробно</i>			

ТЕРЦИЈАРНА ФАЗА (3)			
До 1000 ЕС	1000-10 000 ЕС	10 000-50 000 ЕС	Већи од 50 000 ЕС
		-Биолошка денитрификација <i>предходна, степенаста,</i> <i>симултана,</i> <i>алтернативна</i> <i>интермитентна</i>	-Биолошка денитрификација <i>предходна, степенаста,</i> <i>симултана,</i> <i>алтернативна</i> <i>интермитентна</i>
		-Дефосфоризација <i>биолошка (у случају</i> <i>потребе симултана</i> <i>хемијска)</i>	-Дефосфоризација <i>Биолошка +</i> <i>симултана хемијска</i>
		-Дезинфекција <i>хлорним препаратима (Cl₂, NaOCl)</i> <i>УВ зрацима</i>	

4.1 Механичка - претходна обрада

Механичким поступцима пречишћавања називамо поступке који се заснивају на физичким нечистоћама воде и нечистоћа (разлике у специфичној маси, облик, тежина, итд.) и на деловању физичких сила (гравитације, притисак, итд.). Ти поступци су основа такозване претходне обраде и процеса примарног пречишћавања као и појединих фаза процеса секундарног и терцијалног пречишћавања отпадних вода.

Механичке методе пречишћавања воде састоје се у уклањању микро и макро суспендираних честица из воде, органског и анорганског порекла. У ту сврху служе *решетке, сита, таложјење, флотација, филтрирање центрифугирање, таложници за песак, хватачи масти, примарних (претходних) таложника и базена за изједначавање протока и састава отпадне воде (када се ови битно мењају у току дана).* У склопу овог

дела постројења користе се и уредјаји за аерацију отпадне воде, којом се постиже боље издавање инертних честица, флотација масти и уља, унос одређене количине кисеоника у воду, као и десорпција неких гасова из воде. [1]

Механичко пречишћавање се примењује за:

- претходно пречишћавање отпадних вода на постројењу за пречишћавање,
- делимично пречишћавање кишнице (пре исуштања у реципијент), и
- претходно пречишћавање неких индустријских отпадних вода пре испуштања у градску канализацију.

4.2. Физичко-хемијска обрада

Физичко-хемијске методе пречишћавања воде су: коагулација и флокулација, флотација, адсорпција, јонска измена, аерација и сличне методе.

4.2.1. Коагулација и флокулација

За разлику од правих раствора, који садрже растворену материју до величине молекула или јона, код колоидних раствора диспергована материја је у облику агрегата који се састоји од већег броја молекула. Колоидни раствори расипају светлост када се осветле са стране, док прави раствори не. Колоидне честице су наелектрисане истоименим наелектрисањем, због чега се међусобно одбијају.

Наелектрисање колоидних честица потиче од адсорбованих анјона и катјона из раствора. Сваки талог има особину да апсорбује јоне који га сачињавају, па ће талог металног сулфида да апсорбује сулфидне јоне, а талог сребро-хлорида среброве или хлоридне јоне итд.

Коагуланти су материје које имају супротно наелектрисање од колоидних честица у води; они се сорбују на површини колоидних честица, неутралишу им наелектрисање и изазивају коагулацију.

Коагулација се реализује растварањем у води материја (соли гвожђа- FeCO_4 , алуминијума- $\text{Al}_2(\text{CO}_4)_3$), које услед хидролизе образују пахуљичасти талог ($\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Al}(\text{OH})_3$). Овај пахуљичасти талог има велику адсорпциону и коагулациону моћ.

Флокулација је укрупњавање колоидних честица путем макро молекула, а то су најчешће неке органске материје (скроб, полиетилен). Флокуланти се везују за две или више колоидних честица, то има за последицу смањење међусобног одбијања, што доприноси укрупњавању честица наизменичним везивањем полимерних молекула и

колоидних честица. Флокулација је спорији процес од коагулације. Негативна страна ових процеса је појава великих количина талога. [1]

4.2.2. Флотација

Под флотацијом се подразумева механичко раздвајање материја, које се заснива на различитим физичко-хемијским понашањима површине појединих састојака према води и додацима. Велики број минералних честица се не кваси, већ се лепи за ваздушне мехуриће и заједно са њима испливава на површину. Друге честице се под истим условима квасе и падају на дно. Додавањем флотационих реагенса, честице могу бити квашљиве или неквашљиве, односно може се утицати на промену њихових особина. Убацивањем ваздуха стварају се мехури, који са собом повлаче у пену на површини и чврсте честице. Сакупљањем пене са површине воде, уклањају се и честице загађивача које се налазе у њој. [1]

4.2.3. Адсорпција

Овом методом пречишћава се вода до велике чистоће. За методу адсорпције користе се филтери на бази адсорбената који имају веома развијену порозност и активну површину (активни угаљ, зеолити, силикагел). Најбољи начин пречишћавања је да се вода пропушта кроз већи број филтера. Њиме се могу ефикасно уклонити мириси из воде, затим око 90% суспендованих чврстих материја и око 80% органских материја.

Када дође до засићења првог филтера, вода се пропушта кроз други, па онда кроз трећи. За то време врши се регенерација првог филтера и то загревањем на температури од 800 °C где долази до десорпције, односно разарања адсорбованих материја и испаравања. Други метод десорпције реализује се употребом органских растварача, потом се дестилацијом растварачи одвајају од адсорбоване материје.

Јонска измена је ефикасан начин пречишћавања отпадних вода. Њоме се уклањају скоро сви јони из воде, међутим након одређеног времена јоноизмењивач се засити па је неопходно извршити регенерацију са катјонима и ањонима, а најчешће са растворима HCl и NaOH. [2]

4.2.4. Јонска измена

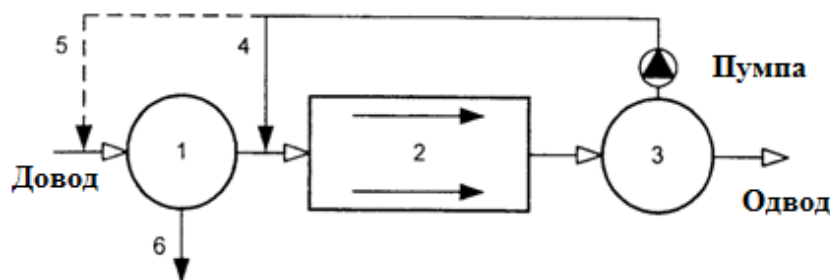
Суштина ове методе састоји се у пропуштању загађене воде кроз слој јоноизмењивача. У току јоноизмењивачке реакције долази до замене јона загађивача јонима који нису

загађивачи. Ова метода се примењује највише приликом уклањања јона тешких метала, а најпогоднија је метода за уклањање радиоактивних јона. Процес јонске измене настаје када се загађена вода пропушта кроз јоноизмењиваче, који су способни да мењају своје јоне за јоне из воде. Јоноизмењивачи су у облику ситних зрнаца која се пакују у колоне и могу бити: природни (зеолити) и вештачки (органиски полимери на којима се налазе јоноизмењивачке групе). Главни део постројења за пречишћавање, састоји се од филтера у облику суда у коме се налази јоноизмењивач постављен на подлогу од шљунка.

5. Објекти за биолошко пречишћавање отпадних вода

5.1 Конвенционално постројење

Конвенционално постројење састоји се од претходне таложнице (1), аерационог базена са клипним струјањем (2) и накнадне таложнице (3). Пречишћена вода излази из накнадне таложнице и одлази у природни пријемник или на даље пречишћавање, ако је потребно. Један део муља из накнадне таложнице (повратну муљ - 4) одлази на улаз у аерациони базен, у циљу засејавања отпадне воде одговарајућим микроорганизмима. На тај начин микроорганизми у систему пролазе кроз различите фазе свог развоја, зависно од хидрауличног времена задржавања и старости муља. На овај начин одржава се одређена концентрација биолошки активног муља у аерационом базену, односно одржава се одређена размера између доведене нове органске материје која треба да се разгради (хране), према масти живих организама у муњу. Овај однос зове се *оптерећење масе муља*.



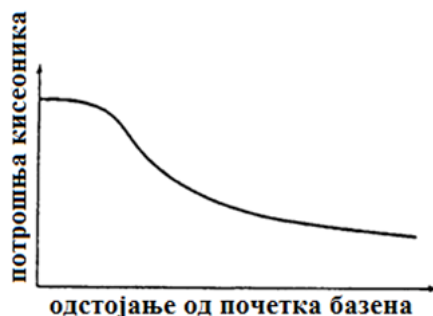
Слика 5.1 Конвенционално постројење са активним муњем [6]

Други део муља представља *вишак муља* (5), односно муљ произведен од органске материје која се са отпадном водом непрекидно уноси у систем. Тај муљ се евакуише из система и шаље на обраду. На слици 5.1. је приказан систем са убацивањем вишка муља у сирову воду на почетак процеса, где се његово уклањање врши у примарној таложници. Муљ подпомаже талочење у претходној таложници због свог флокулантског дејства. [6]



Слика 5.2. Конвенционални третман са активним муљем [15]

Потрошња кисеоника дуж базена за аерацију одговара потребама микроорганизама, па је највећа на почетку аерационог базена а затим дуж њега опада.



Слика 5.3. Промена потребе за кисеоником дуж аерационог базена са клипним струјањем [6]

Међутим, у конвенционалним постројењима кисеоник се додаје по целој дужини аерационог базена, удувавањем ваздуха или механичким површинским аераторима. Услед тога и ефикасност преноса кисеоника дуж базена није једнолика.



Слика 5.4. Ефикасност преноса кисеоника дуж аерационог базена са клипним струјањем [6]

5.2. Степенасто додавање кисеоника

Овај поступак се разликује од конвенционалног у томе што се дуж аерационог базена додају различите количине кисеоника, приближно сагласно потребама. [6]

5.3. Модификована аерација

Разликује се од конвенционалног постројења по већем оптерећењу муља, мањој концентрацији муља у аерационом базену и краћем времену трајања аерације. Због тога је и ефикасност ових постројења нижа од конвенционалних. [6]

5.4. Високо оптерећено постројење

Слично модификованој аерацији, али са краћим временом аерације и знатно већом концентрацијом муља у аерационом базену, која се постиже великим степеном рецикулације повратног муља.

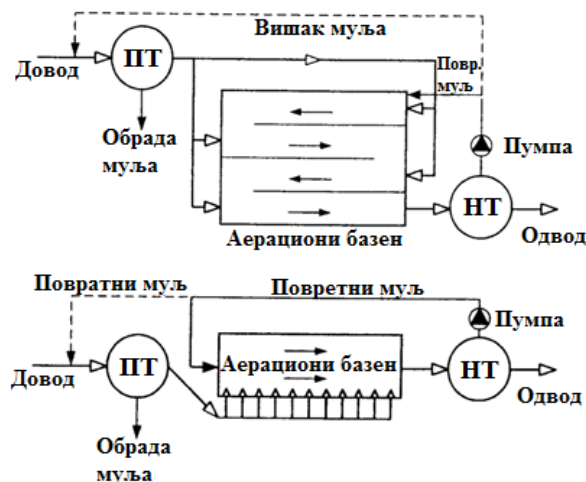
Овим поступком остварује се виши степен пречишћавања него код претходног поступка.

Код овог поступка, обавезна је примена површинске аерације ради доброг мешања и одржавања погодне величине пахуљица муља. [6]

5.5. Степенасто додавање отпадне воде

У овом поступку отпадна вода се додаје на више места дуж аерационог базена са клипним струјањем. На овај начин смањена је потреба за кисеоником на почетку, и равномерније је распоређена дуж базена. Тиме је и укупна ефикасност преноса и искоришћења кисеоника побољшана.

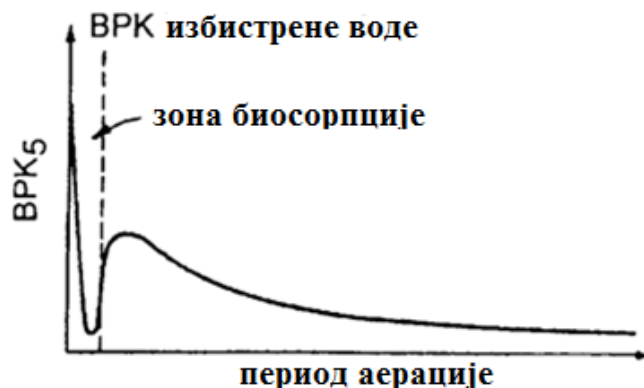
Целокупан повратни муљ улази на почетак базена за аерацију. У овом поступку оптерећење је распоређено на цео аерациони базен, а не само на његов почетак као што је случај у конвенционалном поступку. Стога у случајевима где постоје удари оптерећења отпадне воде овај поступак је погоднији од конвенционалног, који је на ударна оптерећења посебно осетљив. [6]



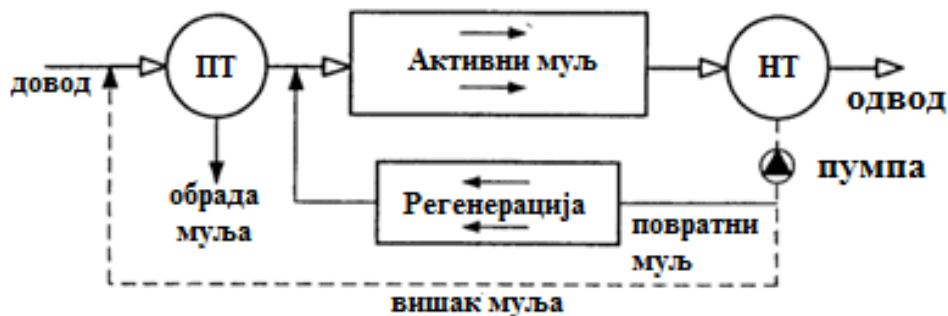
Слика 5.5. Аерациони базен са клипним струјањем и степенастим додавањем отпадне воде-два решења диспозиција [6]

5.6. Контактна стабилизација (био-сорпција)

У процесу са активним муљем постоје две фазе *слика 5.6*. У првој фази у трајању од 20 до 40 минута, одиграва се адсорпција колоидних ситних суспендованих честица у пахуљице муља. Таложењем овако образованих агрегата постиже се знатно смањење $ВРК_5$ отпадне воде. У другој фази одиграва се процес асимилације органских материја од стране организама, што се испољава у повећаној биохемијској потрошњи раствореног кисеоника и стабилизацији органских материја. За одвијање друге фазе потребно је 2 до 4 часа аерације. У до сада описаним процесима обе фазе се одигравају у једном базену. У овом поступку они су раздвојени (*слика 5.7*).



Слика 5.6. Примена $ВРК_5$ у мешавини сирове отпадне воде и активног муља током периода аерације [6]



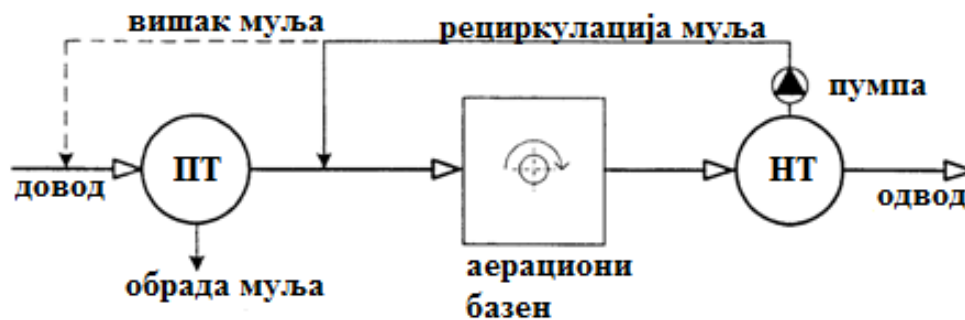
Слика 5.7. Шема процеса контактне стабилизације [6]

Сирова или претходна избистрена вода меша се са повратним муљем и одлази у аерисани базен за мешање и адсорпцију. Време задржавања воде у овом базену је од 30 до 60 минута. Затим одлази у накнадну таложницу. Пречишћена вода одлази у природни пријемник. Исталожени муљ одлази на регенерацију (време задржавања од 3 до 6 часова) где се врши стабилизација органске материје. Концентрација активног муља је овде велика и износи преко 4 000 mg/l. На овај начин постиже се смањење потребних запремина базена, или се у преоптерећеним постројењима незнатно реконструкцијом ценовода постижу добри резултати без дограђивања објекта, а при повећаном биолошком оптерећењу. [6]

5.7. Постојења са потпуним мешањем

У постројењима са потпуним мешањем у сваком тренутку и у сваком делу базена за аерацију потпуно су исти услови (концентрација хране, концентрација активног муља, састав биоценозе активног муља). Да би се одржавали ови услови потребно је интензивно мешање воде у базену који се постиже турбинама или другим уређајима за механичку аерацију.

Ово је нарочито повољно за мала постројења, где се јављају удари оптерећења, као и за постројења где долазе и индустријске отпадне воде на прераду. [6]



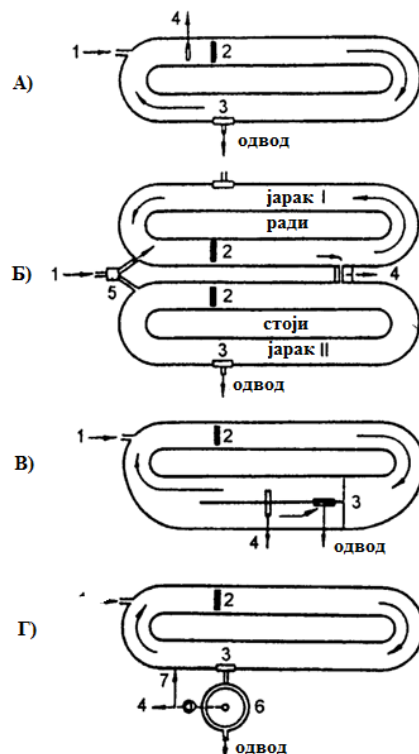
Слика 5.8. Процес са активним муљем у реактору са потпуним мешањем [6]

5.8. Продужена аерација

Продужена аерација је процес са активним муљем који ради у опесегу ендogene респирације микроорганизама. У овим постројењима нема претходне таложнице па ни примарног муља. Сав муљ се аеробно стабилизује у аерационом базену. Да би се ово постигло потребно је остварити ниско органско оптерећење и друго време аерације. Примењује се за мала и префабрикована постројења. Обично се и муљ испушта са пречишћеном водом, а где се захтева испуштање избистрене воде мора се предвидети и накнаднаталожница. Ако муљ није довољно стабилизovan може се применити одвојена аеробна стабилизација. Муљ се суши на пољима за сушење муља. [6]

5.9. Оксидациони јарак

Ово је поступак по принципу продужене аерације. Оксидациони јарак је прстенасти јарак, дубине 1 до 1,5 m. За унос кисеоника у отпадну воду користи се ротирајућа четка постављена попречно на јарак (по потреби може их бити већи број), која обезбеђује аерацију и струјање воде брзином 0,3 до 0,6 m/s. Пре упуштања у јарак отпадна вода мора проћи кроз решетку.



Слика 5.9. Различита решења оксидационог јарка [6]

(А) Најпростије решење са интермитентним радом - четка за површинску аерацију (2) се заустави да би се муљ исталожио, па се клапна на преливу (3) спусти ради испуштања воде, затим се клапна подиже и четка поново пушта у рад. Повремено се испушта вишак муља (4). Све операције обављају се аутоматски.

(Б) Двојни јарак са наизменичним радом. На крају доводног канала (1) постављена је комора за расподелу (5), која аутоматски пушта воду у један или други јарак. Такође аутоматски се укључују или искључују четке (2) и подижу и спуштају преливне клапне (3). На слици 5.9. Б приказано је стање када је јарак I у раду а из јарка II се испушта пречишћена вода. Повремено се испушта вишка муља (4).

(В) Јарак са наизменичним пуштањем отпадне воде кроз подељени део. На слици 5.9. В приказано је стање кад вода струји кроз унутрашњи рукавац, док спољашњи служи као таложница и из њега се излива вода преко прелива (3). Објекат ради непрекидно, а вишак муља се повремено испушта из једног или другог рукавца (4).

(Г) Ово је постројење континуалног рада са продуженом аерацијом и симултаном стабилизацијом муља, и са накнадном таложницом (6). Зависно од оптерећења, муљ може бити у већем или мањем степену стабилизован па је по некад потребно предвидету обраду муља. Део муља из накнадне таложнице се враћа у процес (7). [6]

5.10. Карусел

Постројење карусел представља даљи развој принципа оксидационог јарка. Један од главних недостатака оксидационог јарка је велика потребна површина, проузрокована применом ротирајућих четки које ограничавају дубину јарка на највише 1,5m. За аерацију и обезбеђење струјања воде у каруселу примењују се вертикалне турбине, тако да дубина воде може бити и до 5m.



Слика 5.10. Шема постројења карусел [6]

У каруселу, као и у оксидационом јарку, концентрација раствореног кисеоника се мења од зоне богате кисеоником (зона 1) у близини и непосредно низводно од аератора, до зоне сиромашне кисеоником или аноксичне зоне (зона 2) удаљене од аератора. На тај начин присутни микроорганизми су навикнути на средину са променљивом концентрацијом раствореног кисеоника. Услед тога изненадно смањење концентрације кисеоника изазвано ударним оптерећењем не утиче неповољно на ефикасност постројења.

У аноксичној зони карусела одиграва се денитрификација. Да би се поспешио овај процес може се у ову зону довести извесна количина сирове воде.

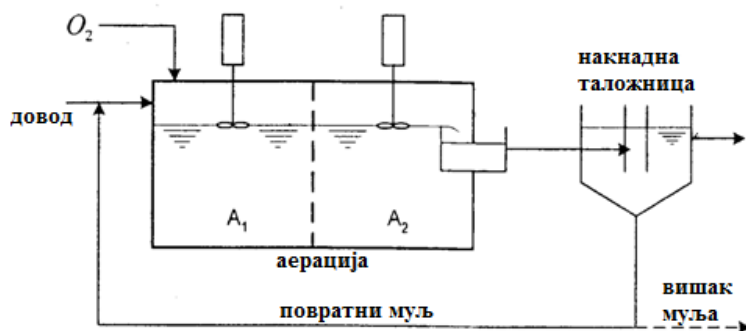
Аерисана отпадна вода која је прошла кроз објекат 20 до 100 пута, одлази у накнадну таложницу. Претходно таложење се не примењује. [6]

5.11. Комбинована постројења

Код комбинованих постројења простор за аерацију и накнадна таложница смештају се у једном објекту. У простору за аерацију треба обезбедити потпуно мешање што се постиже применом различитих конструкција механичких аератора. Примењују се за пречишћавање отпадних вода мањих насеља. Производе их различити произвођачи опреме, и међусобно се разликују. [6]

5.12. Постројења са чистим кисеоником

Ово је један од новијих поступака пречишћавања процесом активног муља, где се аерација отпадне воде врши чистим кисеоником. На слици 5.11 приказана је шема таквог уређаја. Она се састоји из више комора са површинским аераторима, које су покривене. Примељују се турбине за површинску аерацију или специјални типови механичких аератора којима се обезбеђује мешање воде. У простор изнад воде уводи се чист кисеоник, или ваздух обogaћен кисеоником. У процесу се троши кисеоник а производи угљендиоксид. Услед тога потребно је вршити обнављање кисеоника у простору изнад површине воде, а зависно од пуферског капацитета воде, може бити потребно и подешавање рН вредности.



Слика 5.11. Шема постројења са чистим кисеоником [6]

Производња чистог кисеоника је скупа, али се то компензује већом ефикасношћу преноса кисеоника и могућношћу рада са већом концентрацијом активног муља (биомаса). Равнотежна концентрација раствореног кисеоника у води која је у додиру са атмосфером чистог кисеоника је 43 mg/l. На тај начин је могуће, без великог утrophа енергије, одржавати концентрацију кисеоника у отпадној води између 6 и 10 mg/l, што омогућава велику биолошку активност. Муљ је богат протозоама, има низак индекс муља, брзо се

талози, добро се згушњава, што омогућава већу концентрацију муља у аерационом простору.

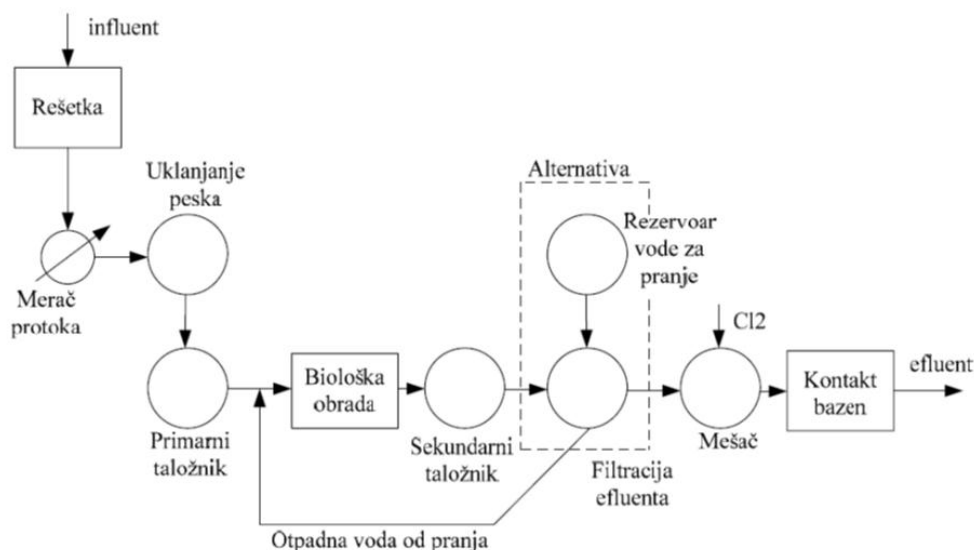
Укупна ефикасност процеса је приближно иста као и код конвенционалног поступка.

За мања постројења кисеоник се доноси у судовима под притиском а за већа постројења се производи на лицу места.

Објекти постројења са чистим кисеоником су мањих габарита од објеката конвенционалних постројења. Примена постројења са чистим кисеоником нарочито је повољна: (1) кад је ограничен простор за изградњу постројења за пречишћавање, (2) када су промене органског оптерећења велике, и (3) када се пречишћава градска или индустријска вода са високом концентрацијом органских материја. [6]

6. Процеси и уређаји за биолошко пречишћавање отпадних вода

Биолошко пречишћавање отпадних вода обухвата уклањање растворених органских материја и неталоживих колоидних честица. У систему пречишћавања отпадних вода биолошка обрада одвија се као секундарно пречишћавање, а после механичког, односно примарног пречишћавања (слика 6.1). Биолошко пречишћавање може се појавити и као независан поступак.



Слика 6.1. Типична технолошка шема биолошке обраде градских отпадних вода [1]

Биолошко пречишћавање отпадних вода у односу на друге индустријске биотехнолошке поступке разликује се у следећем:

1. Микроорганизми (микрофлора) потичу из природне средине; њен раст и развој се не одвијају у оптималним физиолошким условима.
2. Концентрација супстрата је обично прениска.
3. Циљ процеса је разградња органских материја, а не стварање биомасе или продуката метаболизма.

Биолошко пречишћавање се примењује за:

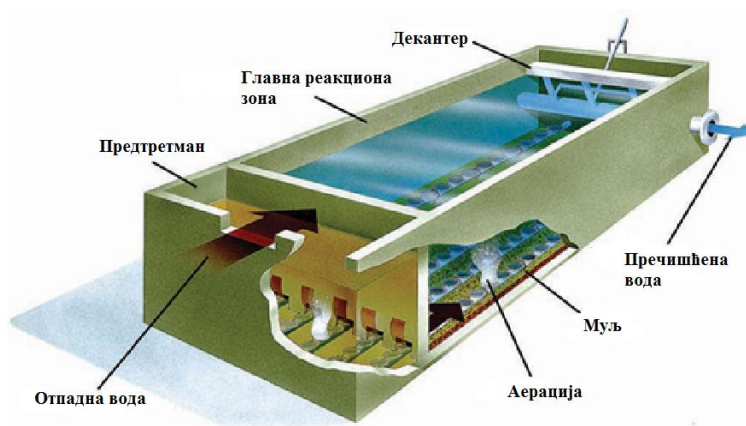
- уклањање органских материја;

- уклањање азота (као биогеног елемента) помоћу поступака 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. [1]

6.1 Биоаерациони базен

Дно и зидови биоаерационог базена (реактора) су од армираног бетона, обично је правоугаоног облика (иако нису искључени и други облици). У реактору се отпадна вода аерише и тако стварају услови који погодују процесу биолошке разградње.

Количина кисеоника која је потребна за аерацију уноси се преко потопљених цевастих аератора (аерација са финим мехуровима). Наиме како је микроорганизмима за обављање животних активности потребна храна и кисеоник, у процесу пречишћавања из отпадне воде узимају храну у облику органске материје, док кисеоник истовремено добијају интензивном аерацијом. При таквом процесу биоразградње редукује се садржај органске материје отприлике 95%.



Слика 6.2 Делови биоаерационог базена [13]



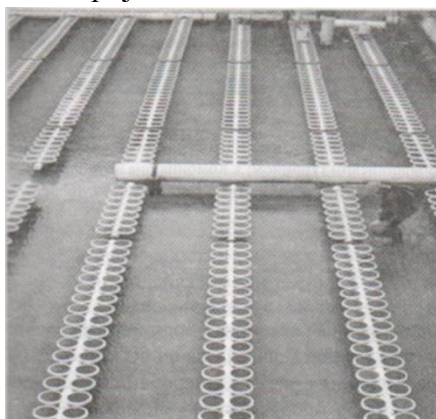
Слика 6.3. Аерациони базен у коме се гаји активни муљ [14]

Аерација

У биолошким поступцима за пречишћавање отпадних вода, примењује се:

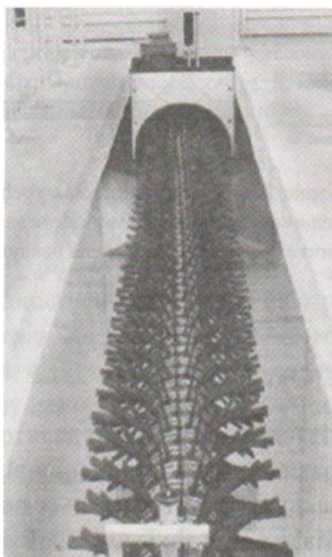
- субмерзна (дубинска) аерација: дифузна и дифузно-турбинска
- имерзна (површинска) аерација

Субмерзна аерација се примењује за претходну аерацију отпадне воде и у постројењима за аеробну биолошку прераду малог капацитета. Она се остварује уношењем ваздуха кроз отпадну воду преко уређаја за дисперговање воде у ситне мехурове. Дисперговање се врши преко перфорираних цеви или порозних тела израђених од керамике или синтерованих материјала постављених на дно биолошког реактора.



Слика 6.4. Порозни дифузери за дубинску аерацију смештени на дну биореактора [14]

Површинска аерација – За аерацију отпадне воде у постројењима великог капацитета у принципу се користи површинска аерација.



Слика 6.5. Мамутротор за површинску аерацију [14]

6.2. Секундарни таложник

Након аерације отпадна вода, која се састоји од мешавине отпадне воде и активног муља, долази у секундарну таложницу обликовану као левак ради лакшег и бржег таложења честица муља.

Током процеса таложења долази до одвајања мешавине активног муља и воде при чему се одваја биолошка маса (микробиолошки муљ) од отпадне воде, па муљ због своје тежине пада на дно у врх левка. Избистрена вода се преко кружног прелива одводи према контролном мерном окну и потом према реципијенту.



Слика 6.5. Одвајање воде од муља у секундарном таложнику [14]

Активни исталожени муљ, кога чине флокуле микроорганизама (алге, бактерије, протозое и сл.) се из секундарне таложнице поново враћа у биолошки базен помоћу велике пумпе (мамут пумпа) и на тај начин се процес пречишћавања континуирано понавља. [4]

6.3 Биолошки процеси

Биолошки процеси пречишћавања вода могу се одвијати као аеробни и анаеробни, уз помоћ аеробних или анаеробних микроорганизама. Разлика је у путевима биолошке оксидације органских материја.

Аеробни процеси се користе за обраду вода са малом и средњом концентрацијом органских материја, а **анаеробни** за воде са великим органским оптерећењем. Аеробни процеси су далеко више заступљени код обраде отпадних вода.

Аеробни поступци 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 (нпр. комуналних 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.

Код биофилтара је велика површина контакта обезбеђена филтарском испуном преко које се отпадна вода слива, а довод кисеоника се остварује промајом или удувавањем ваздуха.[5]

Биолошко или секундарно пречишћавање загађене воде има за циљ да се у што већој мери уклоне биолошки разградљиве органске материје. Разлог томе је што у низу случајева механичким (прелиминарним и примарним) пречишћавањем нисмо у стању задовољити услове постављене од водопривреде у погледу заштите вода од загађења, јер добијени ефлуент после превог степена пречишћавања још увек садржи велики део биолошки разградљивих материја.

У фази биолошког пречишћавања, у зависности од ефикасности појединих објеката, могуће је постићи снижење ВРК загађених вода у границама 35-95%.

Биолошки процеси пречишћавања базирају на аеробној декомпозицији или оксидацији органских материја, као и на анаеробној разградњи.

Укључивањем живог света – микроорганизама, учинак пречишћавања у погледу смањења садржаја биолошки разградљивих материја, као и суспендованих материја значајно се побољшава. Шта више, висок степен пречишћавања може се првенствено постићи коришћењем биолошке фазе пречишћавања.

Биолошко пречишћавање мањих количина загађене воде може се вршити у природним или полу-техничким условима, док веће количине воде пречишћавамо у вештачким или техничким условима.

Објекти у којима се врши биолошко пречишћавање су: прокапни биофилтери, објекти са активним муљем, пешчани филтери (поља филтрације) и стабилизационе лагуне (канални).

За биолошко пречишћавање загађене воде (ако нема ометајућих и отровних састојака) у аеробним условима потребна је велика површина за пренос кисеоника и довођење велике количине ваздуха (кисеоника).

Код процеса активним муљем (биоаерациони базени) површина је остварена преко формиране масе пахуљица муља- активни муљ, а кисеоник се уноси удувавањем или механичком изменом масе загађене воде у непосредном додиру са ваздухом.

Биолошким методама из загађене воде уклањају се органске материје. У тим процесима учествују хетеротрофни организми (тј. организми који не могу сами да врше синтезу својих састојака) који као храну користе органске материје из загађене воде.

У објектима за биолошко пречишћавање због тога је потребно да технички услови буду подешени тако да се што већи део органске материје преобрази у биомасу, која се затим може издвојити из система. Енергију која је потребна за тај процес организми добијају оксидацијом другог дела хране и она се враћа у раствор у облику минерала.

Зависно од врсте услова и процеса пречишћавања, минерализација може бити јача или слабија. Знатна минерализација обавља се полутехничким методама, где животна заједница садржи и већи број ауотрофних облика (организми који се хране минералним једињењима азота, угљеника и сл., синтезом се преобраћају у органске материје), чијим деловањем минерализоване хранљиве материје могу бити поново фиксирани у организме, а што касније може имати употребну вредност. [7]

Недостатак полутехничких поступака (коришћење загађене воде за набодњавање, разни облици филтрације тла, рибањаци, лагуне и сл.) састоји се у томе што они не могу радити током целе године, пошто пољопривредне културе користе воду само у одређеним временским периодима (нпр. рибањаци се зими празне).

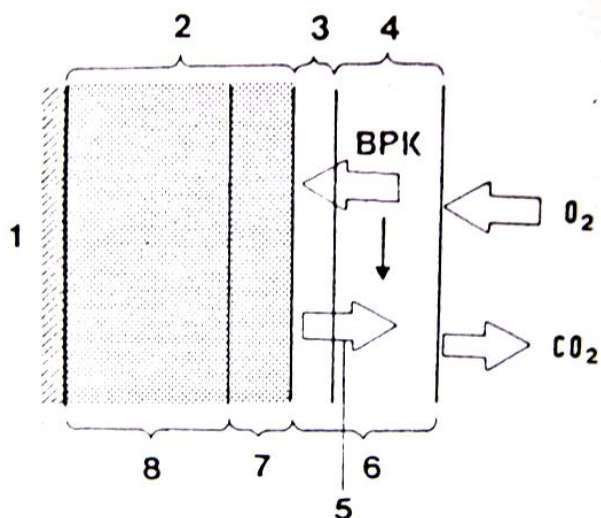
Код биолошке филтрације и процеса са активним муљем, треба тежити да се постигне максимална асимилација, а не оксидација, при чему настају скраме или пахуљице муља. Скраме из биофилтера и пахуљице муља из аерационих таложника садрже хетеротрофне организме и органску материју разграђену у мањем или већем степену. Код слабо оптерећених објеката разградња може ићи и до делимичне оксидације. Овај материјал се стога из течног флуида мора одстранити таложењем, јер је подложен разградњи и чини оптерећење за воду реципијента.

Кад је у питању анализа одвијања биолошких процеса код пречишћавања загађене воде треба нагласити да међу поменутиим процесима постоји битна функционална разлика. [7]

7. Процес биофилтрације

Код биофилтрације организми се налазе на филтерском медију, где им се доводе органске материје које они обрађују, док се код процеса са активним муљем, организми доводе до органских материја у загађеној води. У оба случаја, за успешност функције потребно је обезбедити аеробно стање у животном циклусу бактерија, као и потребну количину органских материја које служе као храна тим истим бактеријама које врше њихову декомпозицију.

На филтерској испуни биофилтера формира се биоопна, која се углавном састоји од бактерија и гљивица које се хране органским материјама из загађене воде доведене на филтере. У биоопни су присутни и разни микроорганизми. За време топлог времена сунчева светлост омогућава раст алги на површини филтерске испуне. На слици 7.1 је дат графички приказ тока биолошког процеса на биофилтеру. [7]



Слика 7.1: Ток биолошког процеса на биофилтеру [7]

- 1- Филтерски медиј;
- 2- Биоопна;
- 3- Фиксна водена опна;
- 4- Покретна водена опна;
- 5- Коначни продукти;
- 6- Водена опна;
- 7- Аеробна зона;
- 8- Анаеробна зона;

Количина раствореног кисеоника у течном флуиду попуњава се из околног ваздуха апсорпциом, као и ваздуха који је у шупљинама филтера. Биоопна, иако веома танка, ипак је у унутрашњем делу анаеробна. Зато, независно од чињенице да биолошко филтрирање називамо аеробним процесом, оно је у суштини *факултативан процес* који обухвата деловање како аеробних, тако и анаеробних микроорганизама.

Како загађена вода контактира са површином биофилтера, тако се из воде издвајају органске материје и растворени кисеоник, иза чега настају коначни продукти матаболизма, укључујући и угљен-диоксид.

Микроорганизми у површинском слоју филтерске испуне брзо расту, хранећи се ослобођеним органским материјама. Како загађена вода процурује наниже, садржај органских материја се умањује до те мере да се микроорганизми у нижој зони налазе у стању глади. На тај начин, главнина снижења ВРК се обавља на дубини филтерског медија од 1m, чија висина иначе износи 1,8 m. Коначни продукт из филтерског медија-биомаса- исцурује и издваја се из воде у *накнадном таложнику*. Продувавање филтерске испуне је стога неопходно да би се прочистиле његове поре за пролазак загађене воде и ваздуха. Преоптерећеност биофилтера са туцаничком испуном (што је најчешћи случај) органским загађењем у комбинавији са недовољним хидрауличким оптерећењем може довести до запушености пора биоопне чији је резултат преоптерећеност филтра загађеном водом. Последица тога је смањење ефекта пречишћавања и појава непријатног мириса. [7]

7.1 Процеси са фиксираним биолошким филмом

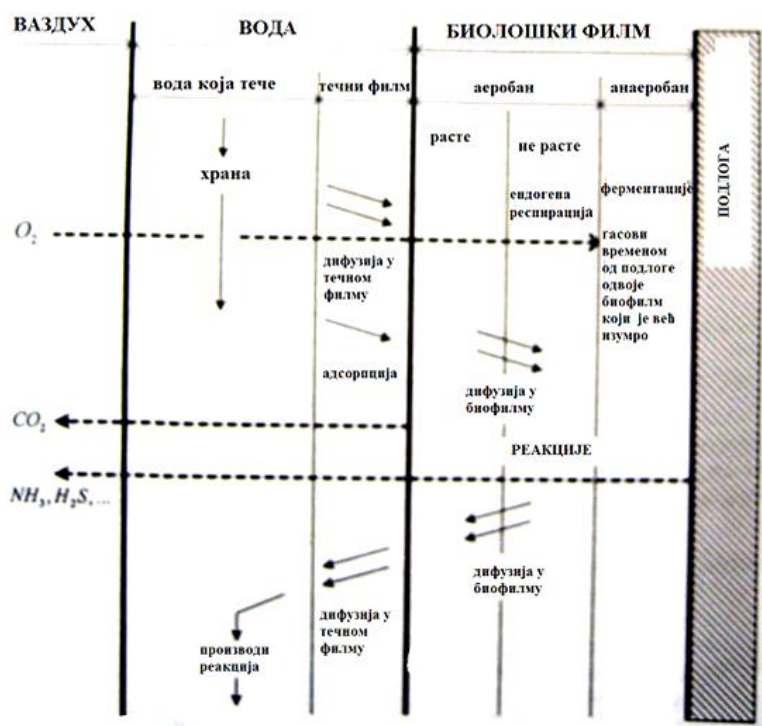
Овај тип процеса користи се код биолошких филтра и ротационих биолошких контактора (RBK). Уклањање колоидних и растворених материја из отпадне воде врши се адсорпцијом на биолошком филму који се образује на чврстој подлози. Да би се повећала ефикасност процеса адсорпције потребно је повећати површину биолошког филма. Ово се постиже испуном од зрнастог материјала или специјално профилисане пластике код биофилтра, односно великим бројем танких пластичних дискова код ротационих биолошких контактора. На овим материјалима долази до образовања скраме која се састоји од микроорганизама и органске материје. Потребне количине кисеоника обезбеђују се струјањем ваздуха кроз испуну биофилтра, односно ротацијом дискова делимично уроњених у воду код RBK.

7.2 Биолошки филтри

Испуна биофилтра састоји се од грубог зрнастог материјала или специјално профилисане пластике, одређене висине. Отпадна вода се равномерно распоређује по горњој површини испуне филтра, одакле се гравитацијом слива низ зрна испуне, док ваздух несметано струји кроз слободне просторе у испуни. У зависности од хидрауличног и органског оптерећења разликују се следећи типови:

- **слабо оптерећени филтри**, који могу бити повољно решење за мања постројења, имају степен уклањања BPK_5 око 95% у једном степену, са нитрификацијом и скоро потпуном стабилизацијом муља;
- **јако оптерећени филтри**, где органске материје у муљу нису стабилизоване, степен уклањања BPK_5 је 75 – 90% у једној степену, а у циљу одржавања довољне брзине воде у испуни примењује се рецикулација воде;
- **куле** висине 5 – 20m, које се користе за делимично пречишћавање органски високо оптерећених индустријских отпадних вода, као први степен пречишћавања у вишестепеном постројењу.

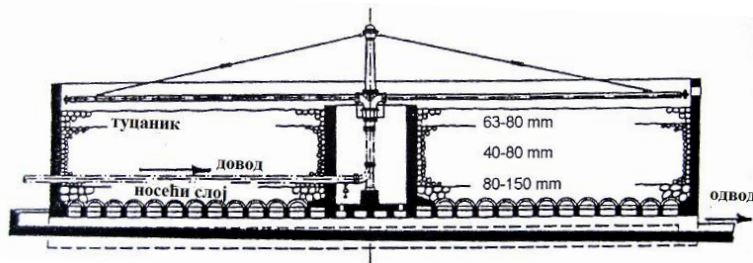
На слици 7.2 приказана је шема појава које се одигравају у биолошком филму на површини зрна испуне филтра (подлози) у контакту са ваздухом. Између ваздуха и воде врши се размена гасова. У воду и аеробни слој биофилма улази кисеоник, а из њих се одводи угљендиоксид. Из анаеробног слоја биофилма издвајају се угљендиоксид, амонијак, сумпорводоник, и други гасови. Из воде у биофилм одлазе хранљиви састојци, а у воду се из њега враћају производи разградње. Веза између подлоге и биолошке скраме временом местимично попушта услед недостатка хране и развијања гасова. Делови скраме повремено се откидају и одлазе са пречишћеном водом и они се морају издвојити из воде таложењем у накнадној таложници. [6]



Слика 7.2: Шема појава у фиксираним биолошким филмима [6]

Овакве тешкоће у експлоатацији ређе се јављају код високо оптерећених филтра. Применом испуне од пластике ове тешкоће се отклањају, а ефикасност филтра је повећана. Ове пластичне испуне пружају знатно већу корисну специфичну површину за образовање биофилма (до $200 \text{ m}^2 / \text{m}^3$) и знатно већу порозност (преко 90%) од испуне туцаником, шљаком, или неког другог материјала.

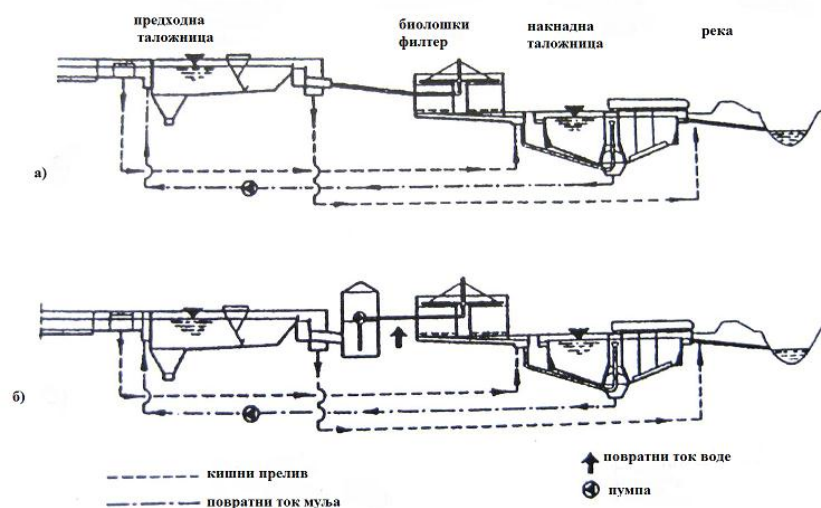
На слици 7.3 приказан је вертикални пресек кроз класичан биолошки филтар са испуном од туцаника. Висина филтарске испуне је око 3м. Испод испуне налази се дупло дно где се скупља пречишћена вода. Вода се на горњу површину испуне излива из распрскивача (Сегнерово коло) које ротира услед реактивне сале млазева воде, услед чега је потребно да вода у распрскивачу буде под притиском од око 0,15 бара. Алтернативно може се предвидети и моторни погон распрскивача. Потребно брзина ротације распрскивача је директно пропорционална хидрауличком оптерећењу а обрнуто пропорционална броју кракова распрскивача и потребном интензитету заливања исзне (литара отпадне воде по површине дна филтра приликом једног проласка распрскивача). Потребан интензитет заливања се повећава са повећањем органског оптерећења филтра. [6]



Слика 7.3: Вертикални пресек кроз биолошки филтар са испуном од туцаника [6]

Како се код биолошког филтра остварује течење у незасићеној средини („сува филтрација“) то је укупан хидраулички губитак кроз биолошки филтар око 5.5m, за висину испуне око 3m.

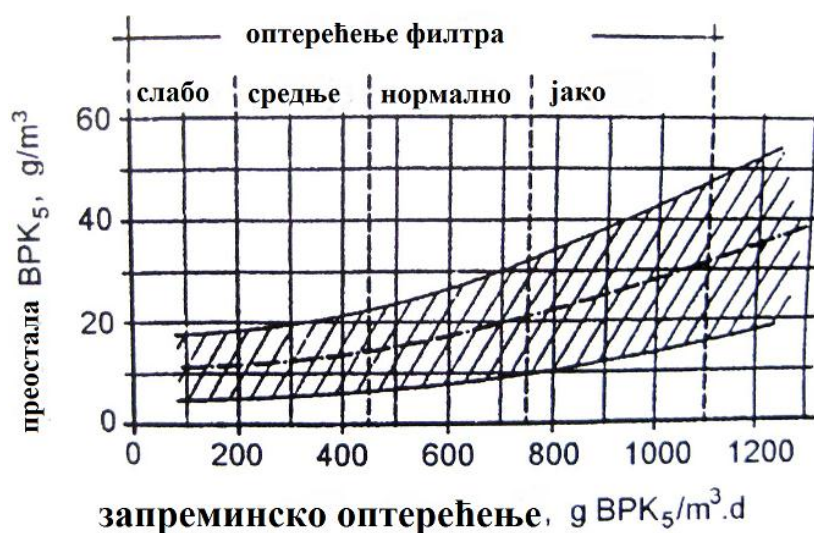
Вода се на филтар доводи интермитентно помоћу дозажног сифона, ако је просечни протицај мали, или непрекидно. У зависности од конкретног случаја може се предвидети и пумпање воде на биолошки филтар. На слици 7.4 приказане су две могуће шеме постројења са биолошким филтром. [6]



Слика 7.4: Постројење са биолошким филтром: а) - гравитационо без рециркулације воде, б) – са пумпањем воде на филтар и рециркулацијом воде [6]

На слици 7.5 приказан је очекивани ефекат пречишћавања биолошког филтра са класичном испуном од туцаника (у процентима и као постигнута концентрација BPK_5 у пречишћеној води) у зависности од запреминског оптерећења органским материјама.

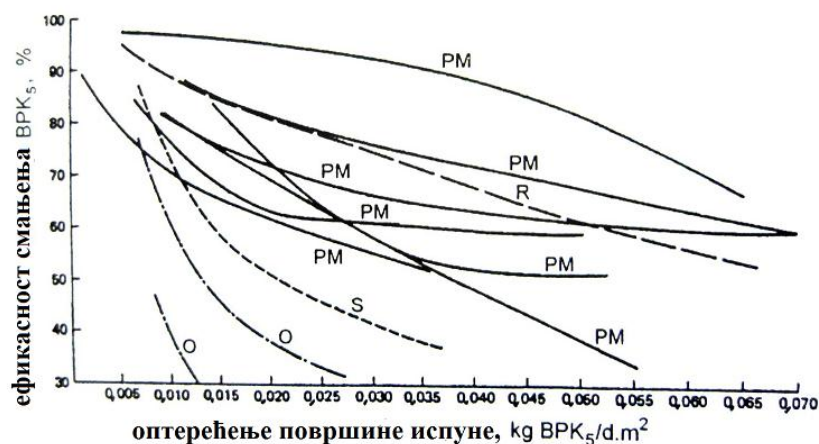




Слика 7.5: Ефикасност биолошког филтера са испуном од туцаника у зависности од захтеваног степена пречишћавања односно од запреминског оптерећења [6]

Ради спречавања замуљивања филтра, обавезно се мора предвидети претходна таложница. У пракси се примењују различите шеме једностепених и двостепених постројења, са повратним током воде из накнадне таложнице или испред ње, у довод испред предходне таложнице или испред филтра, санакнадном таложницом иза филтра другог степена или испред њега, и др. Када се повратни ток уводи испред претходне таложнице онда се он захвата из накнадне таложнице заједно са муљем. Муљ из накнадне таложнице се не рециркулише већ се упућује одмах на обраду муља. [6]

На овај начин постижу се различити услови рада и различит степен пречишћавања, од 60 до 95%. Степен пречишћавања зависи такође и од врсте испуне филтра (слика 7.6 и 7.7).



Слика 7.6: Ефикасност смањења BPK_5 у биолошком филтру у зависности од врсте испуне и оптерећења (ПМ-пластика, С- шљака, Р-туцаник, О-остало) [6]



Слика 7.7: Ефикасност биолошког филтра са пластичном испуном [6]

7.3 Оптерећење и димензионисање биолошких филтара

Приликом димензионисања биолошких филтра узимају се у обзир следеће величине:

- запреминско оптерећење испуне филтра органским материјама $B_v (kgBPK_5 / m^3.d.)$,

- површинско хидрауличко оптерећење по јединици хоризонталне површине објекта $q_{A(1+R)}$, ($m^3 / m^2 h$)
- износ рецикулације R у односу на Q_{SV18} (осамнаесточасовни средњи проток при сувом времену)
- специфична површина испуне филтра A_v , (m^2 / m^3),
- површинско оптерећење органским материјама по јединици површине испуне филтра B_A ($gBPK_5 / m^2 d.$).

Избор вредности пројектних параметра зависи од величине објекта, жељеног учинка пречишћавања и врсте испуне филтра.

Табела: 7.1. Димензионисање једностепених биолошких филтра према АТВ [6]

Пречишћавање			без нитрификације	са нитрификацијом
ИСПУНА ОД ТУЦАНИКА				
Запреминско органско оптерећење B_v ($kgBPK_5 / m^3 d.$)	Постројење за >500 становника		0,4	0,2
		са уједначењем тока у 24 h	$\leq 0,6$	
	50-500 становника		$\leq 0,2$	-
	50 становника		$\leq 0,15$	-
Хидрауличко површинско оптерећење $q_{A(1+R)}$			0,5-1,0	0,4-0,8
Рецикулација у односу на $Q_{SV\ 18}$			$R \leq 1$	$R \leq 1$
ИСПУНА ПЛАСТИЧНИМ ЕЛЕМЕНТИМА				
(не примењује се ако је BPK_5 у води после примарног таложења $< 200\ mg/l$)				
Запреминско органско оптерећење B_v	специфична површина	~ 100	0,4	0,2
	$A_R\ (m^2/m^3)$	~ 150	0,6	0,3
		~ 200	0,8	0,4
Хидр. површин. оптерећење $q_{A(1+R)}$	специфична површина	~ 100	0,8-1,0	0,6-1,0
	$A_R\ (m^2/m^3)$	~ 150	1,0-1,5	0,8-1,2
		~ 200	1,2-1,8	1,0-1,5
Површинско органско оптерећење B_A ($gBPK_5 / m^2 d.$)			4	2

Уобичајени пројектни параметри за димензионисање једностепених биолошких филтра различите величине и врсте испуне, према АТВ (Немачка), дате су у табели 7.1. Према овом упутству, предвиђа се најмањи пречник биолошког филтра од 30m, а највећи од 40m.

Повољна дебљина биофилма, при којој је учинак пречишћавања највиши, одржава се одговарајућим хидрауличким оптерећењем.

Састав воде у биофилтру мења се од улаза према излазу-оптерећење неразграђеним органским материјама опада, расте концентрација суспендованих материја које представљају органску материју стабилизовану у мањој или већој мери, а у случају слабо оптерећених филтра расте концентрација разних оксидованих елемената од којих је најзначајнији нитрат јон (продукт нитрификације).

У случају нискооптерећених филтра даља обрада муља није неопходна а у неким случајевима, с обзиром на малу концентрацију, није неопходна ни накнадна таложница. Међутим код ових филтра долази до развијања ларви инсеката у испуни и до загушења испуне услед масовног развоја влакнастих бактерија и др. [7]

7.4 Прокапници

На бази процеса прокапне филтрације, пречишћавање загађених вода врши се на:

- (1) *прокапницима,*
- (2) *биолошким торњевима и*
- (3) *био-дискovima.*

Прокапник је резервоар напуњен филтерским медијем од дробљене стене преко кога се загађена вода распрскава одговарајућим дистрибуционим системом. Појавом синтетичких материјала, ломљени камен као филтерски медиј замењен је профилираном пластичном испуном и такви се објекти називју биолошки торњеви, јер достижу висину и преко 6m (за разлику од прокапника који су испод 2 m).

Био-диск је уређај са низом оруглих пластичних дискова који су постављени на заједничкој основи која се лагано окреће. Биомаса која се формира на дисковима из загађене воде издваја органску материју у присуству кисеоника и врши њену минерализацију. [6]

На слици 7.8 приказан је прокапник. Загађена вода преко доводног цевовода долази до средишњег дела прокапника, одакле се преко покретног дистрибутора (или фиксираних

прскалица) распрскава по горњој површини ломљеног туцаника. На туцаничком филтру формира се фиксирана биомаса која минерализира органске материје из загађене воде. Равномерно дозирање загађене воде обезбеђује се дозирајућим сифоном (или пумпом) који повремено, тј. са прекидима избацује загађену воду на горњу површину филтра. За време пуњења коморе, на филтер не дотиче загађена вода.



Слика 7.8: Изглед некадашњег прокапног филтра [7]

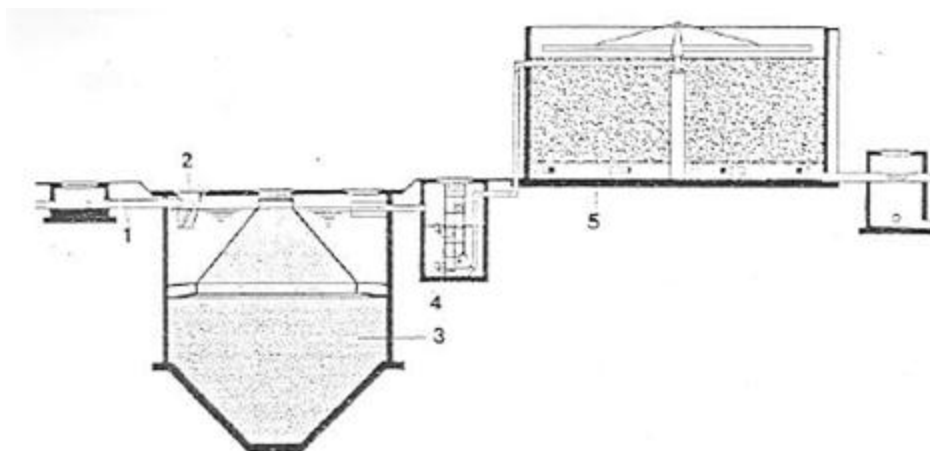
Дренажни систем служи за одвод ефлуента, али уједно преко њега се обезбеђује и циркулација ваздуха. Код неких прокапника ефлуент се скупља путем бочно постављених канала, у дну спољњег зида резервоара, чиме се побољшава аерација и обезбеђује могућност прања дренаже. Правац ваздушнoг струјања кроз прокапник зависи од разлике у температури филтра и загађене воде која се на њега доводи.

Кад је филтерска испуна топлија од загађене воде, правац кретања ваздуха кроз филтер ће бити одозго- нагоре, и обрнуто, када је филтар хладнији, правац кретања ваздуха биће одозго- надолу. [6]

Дренажни систем може бити од филар-блокова који су израђени од керамике или бетона или од армирани-бетонских перфорираних плоча са каналима за скупљање ефлуента.

Као филтерски материјал, сем туцаника користи се шљака или мали облаци који су дуговечни, водоотпорни и са довољном чврстоћом. Пречник филтерског материјала треба да је око 100 mm. Иако је мања гранулација филтерске испуне повољнија (већа површина биомасе), ипак мање поре се чешће запушују и смањују проток течне фазе и ваздуха. Висина испуне креће се 1,5-2,1 m. Утврђено је да се са већом висином не побољшава ефекат снижења БПК загађене воде. При коришћењу прокапника са шљунчаном или туцаничком испуном, увек предходи примарна седиментација, којом се одстрањују крупније суспендоване примесе.

Секундарна линија објекта код пречишћавања загађене воде помоћу једноступеног прокапника дата је на слици 7.9. Из сабирног шахта загађена вода долази до решетке, затим у примарни таложник, а одатле преко пумпне станице на биофилтер. Иза прокапника ефлуент преко мерача протока иде на дезинфекцију, а потом се испушта у реципиент.



Слика 7.9: Вертикални пресек објекта код пречишћавања загађене воде путем прокапника [7]

1- Инфлуент; 2- Решетка; 3- Примарни таложник; 4- Пумпна станица; 5-Прокапник

Стандардни филтери прокапници

Ради спречавања прекида рада дистрибуционог механизма за време малог дотицања загађене воде (у ноћним сатима), између примарног таложника и прокапника поставља се дозирни сифон. Он сакупља ефлуент из примарног таложника и периодично га испушта са интентом који је довољан за окретање дистрибутора, услед чега рад филтера има ритмички карактер. Стандардни прокапници нису за препоруку код нових постројења, пошто рачунско биолошко оптерећење чини само $250 \text{ gBPK} / \text{m}^3 \text{d}$. Прихватљиво их је лоцирати при реконструкцији неких мањих постројења где се тражи виши степен биолошког пречишћавања.

Високофикасни филтери прокапници

Код овог система примењује се рецикулација загађене воде ради повећања протока (хидрауличког оптерећења) течног флуида који пролази кроз филтер. Ово се чини зато да

се обезбеди обрада повећаног органског оптерећења без попуњавања пора филтра са биомасом која би кочила аерацију.

Осим тога, ефекат снижења ВРК се повећава кад загађена вода прође кроз биофилтер више пута. Просечно рачунско оптерећење код високоефикасних филтера износи $750 \text{ gBPK} / \text{m}^3 \text{d}$. То говори, да је потребна запремина филтерске испуне једнака само једној трећини запремине стандардног биолошког филтера. [7]

У пракси коришћења високоефикасних биофилтера користе се различите шеме рецикулације. Најраспрострањеније су- *гравитациони поврат флуида* са дна секундарног таложника у пријемни базен пумпне станице ($R=0,5$) испред прокапника, и то за време малог дотицаја загађене воде, и *директна рецикулација путем препуњавања* филтрата назад на улаз у биофилтар.

Двостепени прокапник

Двостепени прокапник састоји се из два паралелна блока прокапник-таложник, између којих се може поставити међуталожник. Овакав систем је неопходан кад се жели постићи ВРК филтрата 30 mg/l при пречишћавању отпадне воде која је у просеку са већом концентracијом загађења него што је то градска канализациона вода. Ради лакше експлоатације, оба филтра имају исте димензије. Као и у предходном случају, може бити више начина рецикулације, нпр. враћење дела протока (и муља) са дна међуталожника или секундарног таложника и увођење у пријемни базен пумпне станице испред биофилтра; истовремено је могућа и директна рецикулација за сваки блок филтер-таложник.

Ефекат пречишћавања загађене воде на прокапницима може се одредити према емпиријској формули:

$$E = \frac{100}{1 + 0,0561 \left(\frac{BPK_{op}}{F} \right)^{1/2}}$$

$$F = \frac{1 + R}{(1 + 0,1R)^2}$$

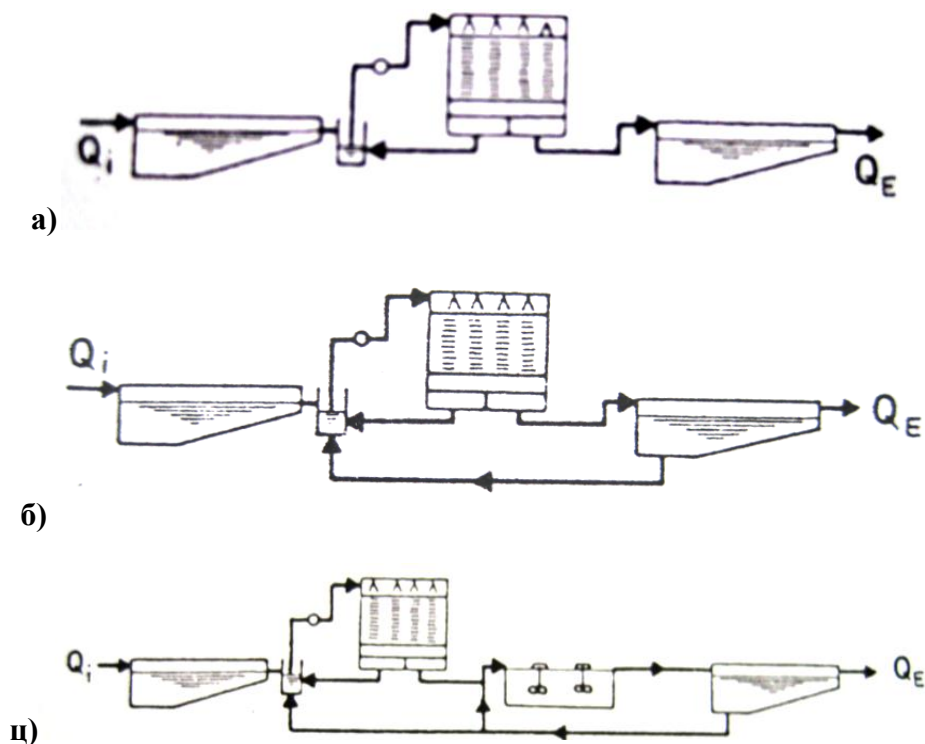
На степен снижења ВРК у процесу биофилтрације велики утицај има температура загађене воде. Тако, нпр. за време зимских месеци ефекат рада биофилтера опада за 5%, па и више, у односу на средње годишње вредности. [7]

7.5. Биолошки торњеви

Главна предност биолошких торњева (слика 7.10) у односу на прокапнике је већа површина (m^2 / m^3) синтетичке испуне филтра у односу на испуну са туцаником. Сем тога, у овом случају постиже се већа запремина слободног простора, што омогућава пораст биомасе, без повећавања количине ваздуха из којег се конзумира кисеоник.

Постоје и друге предности- хомогеност филтерског медија, мала тежина која омогућава повећање висине филтерске испуне, хемијска стабилност и способност обраде јако загађених и неисталожених вода и др.

Ове околности утичу на то да се биолошки торњеви могу успешно применити за пречишћавање како индустријски тако и градски загађених вода. [7]



Слика 7.10: Неке варијанте примене биолошких торњева [7]

а- Биолошки торањ са функцијом као високоефикасни прокапник; б)- Биолошки торањ ради као аерациони систем са активним муљем; ц)- Комбиновано коришћење биолошког торања (I степен) и аерације са накнадним таложником (II степен).

Код биолошких торњева распрскавање загађене воде врши се путем стационарног система, док је дренажни систем од носећих блокова са жљебовима.

Резервоари у које се ставља пластична филтерска испуна могу бити од метала, пластике или бетона. Дозвољено биолошко оптерећење торњева може да буде у границама $400-2400 \text{ gBPK} / \text{m}^3 \text{d}$, док хидраулично иде до $10 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{d}$. [7]

7.6 Ротациони биолошки контактори (RBK)

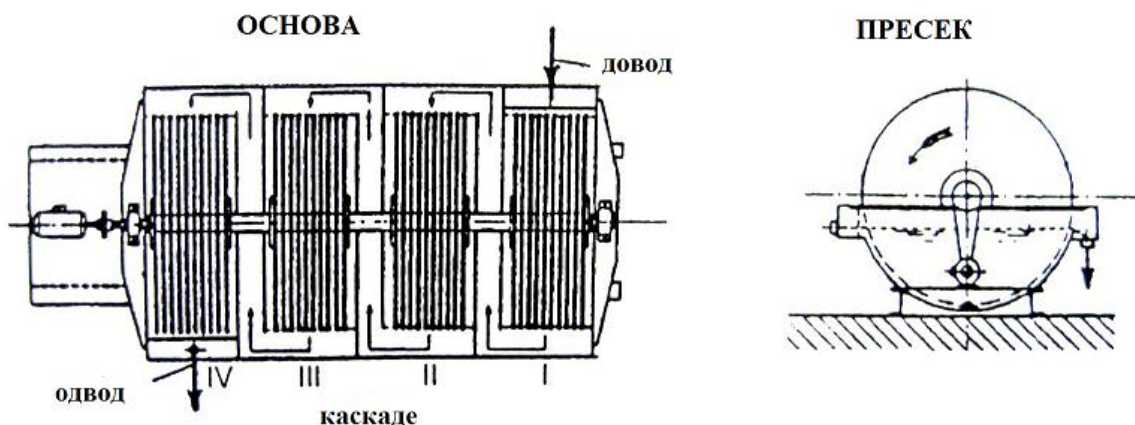
Био-диск је уређај са више пластичних дискова монтираних на хоризонталној основи која се лагано окреће у оквиру затвореног, најчешће лименог простора. Дно резервоара је кружног облика – са загађеном водом у коју су дискови уроњени до 0,4 величине дијаметра. Дискови су рељефни тако да загађена вода може доћи до свих удубљења. При окретању дискова загађена вода долази стално у додир са ваздухом. На дисковима се формира биоопна, аналогно биоопни на прокапницима. Обично су саставни делови био-диска примарни и секундарни таложник те рецикулација филтрата и биомасе из секундарног таложника.

Био-диск треба бити покривен у зимским месецима, али и иначе, ради заштите микроатмосфере од непријатних мириса. За пројектовање био-дискова битна су три параметра – време задржавања загађене воде у резервоару, брзина окретања дискова и њихова диспозиција.

Предност пречишћавања загађених вода путем био-диска се огледа у томе што је овај систем у односу на друге биолошке поступке прост за одржавање, а постижу се и високи ефекти пречишћавања (снижење ВПК) и добра обухваћеност биоопном, која се лако слива на површине дискова.

Уређаје овог типа производе различити произвођачи опреме, и нуде се на тржишту под различитим именима (слика 7.11). састоје се од кружних дискова, на заједничкој осовини, на малом међусобном размаку. Дискови су израђени од пластичног материјала: као плоче са различито набраном површином или као спирале од пластичних цеви са таласастим зидовима, и др. Дискови су делимично потопљени у воду и лагано се окрећу у њој. Живи свет се развија на површини дискова и постепено образује скраму на целој оквашеној површини дискова. Ротацијом делимично потопљених дискова биомаса се наизменично излаже отпадној води и ваздуху, и одржава се у аеробном стању. RBK се израђује као монтажна постројења за пречишћавање отпадних вода до 1000 еквивалентних становника (ES).

Ако је сирова вода јако концентраована (BPK_5 око 10000mg/l) RBK треба уградити у затворен простор у коме је атмосфера обогаћена чистим кисеоником. Услед смучућих сила делови обраштаја повремено опадају и падају у воду у којој се окрећу дискови. Ова маса у извесној мери делује као живи муљ у процесу са активним муљем. Вода заједно са овим муљем излази из RBK и одлази у накнадну таложницу. Ако су велике осцилације протицаја и састава отпадне воде, може бити повољно да се испред RBK постави базен за уједначавање протицаја. [6]



Слика 7.11: Шема RBK (биодиска) са четири каскаде [6]

RBK се обично димензионишу према резултатима постигнутим на огледним или експлоатисаним објектима, мада се могу анализирати на сличан начин као и биолошки филтри. Критеријуми за димензионисање су оптерећење органским материјама и хидрауличко оптерећење. Процесна оптерећења зависе од жељеног степена смањења BPK_5 и нитрификације, као и од температуре.



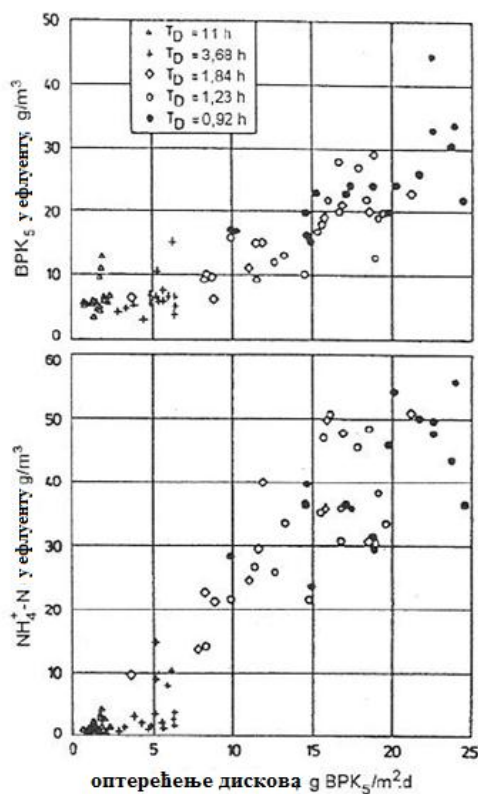
Слика 7.12: Биодиск [5]

Пре уласка у RBK отпадна вода треба да буде у што већој мери ослобођена суспендованих материја. У RBK ниска је вредност односа масе доведених хранљивих материја према маси микроорганизама (Н/М) па стога они добро подносе нагла повећања хидрауличког и органског оптерећења. Пројектовање RBK првенствено се састоји у одређивању потребне површине дискова (A_{pot}):

$$A_{pot} = BPK_5 \text{ (kg/d.)} / \text{Површинско оптерећење дискова (kgBPK}_5 \text{ / m}^3\text{d.)}$$

При чему вредност површинског оптерећења дискова зависи од конструкције RBK, жељеног степена пречишћавања, и састава воде. RBK се обично граде у каскадма, тј. Скуп дискова дели се у две или више група, које ротирају у посебним коритима. На тај начин побољшава се ефикасност, па оптерећење може бити и веће.

На слици 7.13 дати су експериментални подаци о квалитету пречишћене воде, у зависности од оптерећења дискова и времена задржавања воде у објекту (T_D). Препоручене вредности оптерећења дискова дате су у табели 3.15. са овим оптерећењима постиже се, у случају домаћих употребљених вода, концентрације BPK_5 у ефлуенту од 10 до 20mg/l и амонијака између 20 и 30mg/l. [6]



Слика 7.13: Експлоатациони подаци о ефикасности RBK [6]

7.7 Проблеми експлоатације

Рад и експлоатација био-филтра, нарочито са туцаником или шљунчаном испуном везани су за два основна проблема – квалитет филтрата и појава непријатног мириса. Оба проблема су установљена величином органског оптерећења, присуством индустријски загађених вода и радом филтера при ниским температурама. Средњи ефекат снижења ВРК високоефикасних једностепених биофилтера креће се око 85%. Због тога, да би се добио филтрат са излазом ВРК од 30 mg/l , инфлуент не треба да има ВРК више од 200 mg/l , што одговара фекалним водама. Уколико у градски загађеним водама има и индустријских, нужно је предвидети двостепени систем филтрације.

За време ниских температура снижење ВРК значајно опада, па је пожељно објекте биофилтера прекрити специјалним прекривачима.

Због присутности одвијања анаеробних процеса на површини филтерске испуне, коначни продукти матаболизма сире непријатне мирисе, нарочито у јесен и пролеће, кад је због промене температуре ваздуха умањена његова циркулација кроз тело био-филтра. У том смислу посебан проблем представљају индустријски загађене воде, нарочито од прехранбене индустрије, кад долази до преоптерећења биолошког загађења и појаве јако непријатних мириса. Један од начина борбе са овим проблемом је вештачка вентилација, али она, нормално, повећава експлоатационе трошкове.

Ситуација у погледу непријатног мириса много је повољнија код биолошких торњева. Ово се објашњава пре свега, квалитетнијом аерацијом и равномернијим распоредом загађене воде по површини пластичне испуне. Ништа мањи проблем код ових објеката нису попутне појаве за време ниских температура. [7]

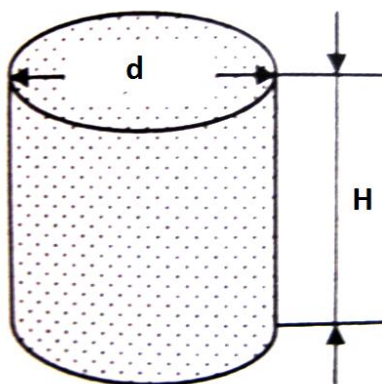
8. Биолошка филтрација - прорачун

У биолошкој филтрацији, као и код процеса активног муља, пречишћавање отпадне воде се врши биооксидацијом помоћу микроорганизама. Микроорганизми су у процесу биолошке филтрације фиксирани за површину носача, док су у процесу активног муља дисперговани у води. Отпадна вода се помоћу дистрибутера распрскава по површини биолошког филтра дисконтинуално или континуално, обливајући формирани слој микроорганизама (биолошки филм). Загађење (храна за микроорганизме) и кисеоник дифундују у биолошки филм, где се разграђују биолошком оксидацијом.

Биолошки филтар се још назива капајући филтар и представља најстарији поступак биофилтрације (прва изведба у Енглеској 1893. године). Капајући филтри су често примењивана алтернатива, за мање протоке отпадне воде, поступцима са активним муљем због мањих оперативних трошкова и једноставнијег рада – али им је мања ефикасност уклањања загађења. Капајући филтар се састоји од слоја носача који чини испуну филтра и који је велике пропустљивости. На површини носача се формира танак слој имобилисаних ћелија микроорганизама- биолошки филм. Аерација се обезбеђује природном промајом. [8]

8.1. Капацитет биолошког филтра

Биолошки филтар има пречник d , и висину испуне H . (слика 8.1). Конвекционални биолошки филтри имају као испуну ломљени камен величине 2-3 цм. Цилиндричног су облика. У новије време, као материјал испуне се користе пластичне масе.



Слика 8.1: Шема конвенционалног биолошког филтра [8]

1. Израчунавање запремине биолошког филтра (V)

$$V = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \times H$$

2. Израчунавање запремине ломљеног камена (V_k), узимајући порозност $\varepsilon = 0,36$

$$V = \frac{V_k}{1 - \varepsilon}$$

8.2. Рециркулациони однос код биолошке филтрације

Рециркулациони однос за биолошке филтре представља однос рециркулационог ефлуента из биолошког филтра или секундарног таложника (Q_r) и улазног тока (Q).

Рециркулациони однос: $r = \frac{Q_r}{Q}$

где је:

Q_r - рециркулисани ток m^3/d

Q - улазни ток, m^3/d

r - рециркулациони однос.

Рециркулациони однос за биолошке филтре може да варира од 0,5 до 4, а најчешће се креће у опсегу од 0,5 до 3,0 (Metcalf and Eddz Inc, 1991).

Приликом пречишћавања отпадних вода у биофилтрима изводи се рециркулација, да би се смањило време задржавања у биолошком филтру, повећало хидрауличко оптерећење и смањила загађеност улазног тока, чиме се смањује опасност од шок оптерећења или деловања токсичних супстанци.

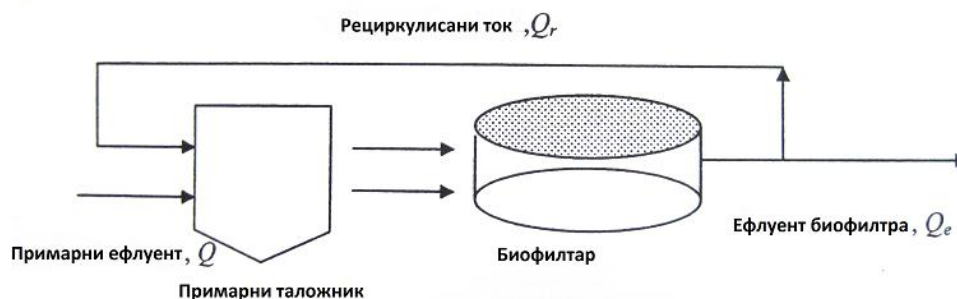
Један од најважнијих разлога за рециркулацију ефлуента из биолошког филтра (или секундарног таложника) јесте тај да би се повећало хидрауличко оптерећење, посебно када су протоци отпадне воде нижи. Рециркулисани ток, зависно од проточне шеме, може да се припоји току примарног ефлуента. Постоји више могућности приказанима на сликама 8.2 и 8.3:



1)

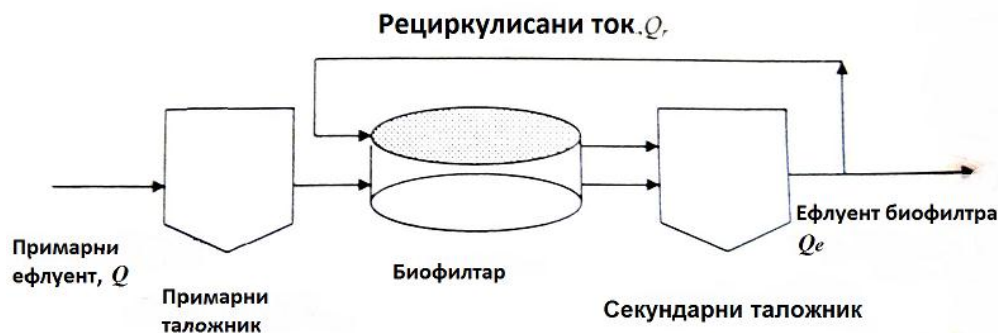
Слика 8.2: Шема биолошке филтрације са рецикулацијом, случај 1 [8]

У приказаном случају 1 на слици рецикулациони ток се укључује у прорачун хидрауличког оптерећења и/или времена задржавања биолошког филтра.



Слика 8.3: Шема биолошке филтрације са рецикулацијом, случај 2 [8]

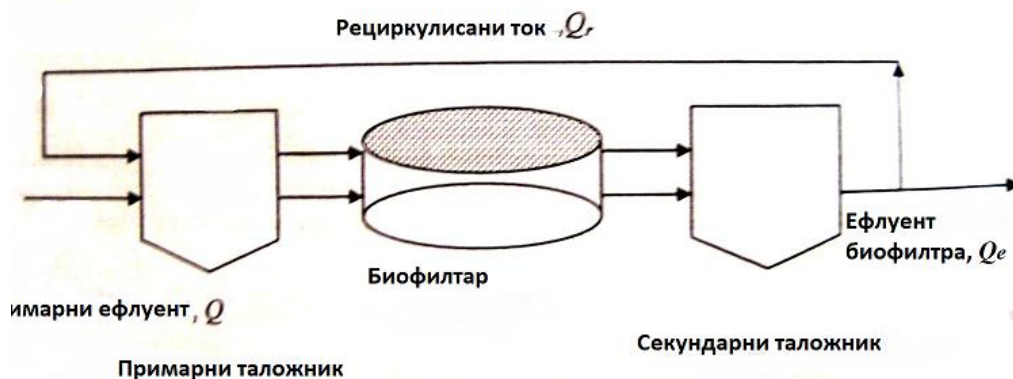
У случају 2 рецикулациони ток се узима у обзир у прорачуне хидрауличког оптерећења и/или времена задржавања који се односе и на примарни таложник и на биофилтар.



Слика 8.4: Шема биолошке филтрације са рецикулацијом, случај 3 [8]

У случају 3 рециркулисани ток се узима у обзир у прорачуну секундарног таложника само ако се врши рецикулација ефлуента секундарног таложника као што је приказано на слици 8.4 . У овом случају рециркулисани ток ће се укључити у прорачун хидрауличког

оптерећења и /или времена задржавања који се односе и на биофилтар и на секундарни таложник.



Слика 8.5: Шема биолошке филтрације са рецикулацијом, случај 4 [8]

У случају 4 рециркулисани ток ће се узети у обзир у прорачуну хидрауличног оптерећења и/или времена задржавања који се односе на примарни таложник, биофилтер и секундарни таложник.

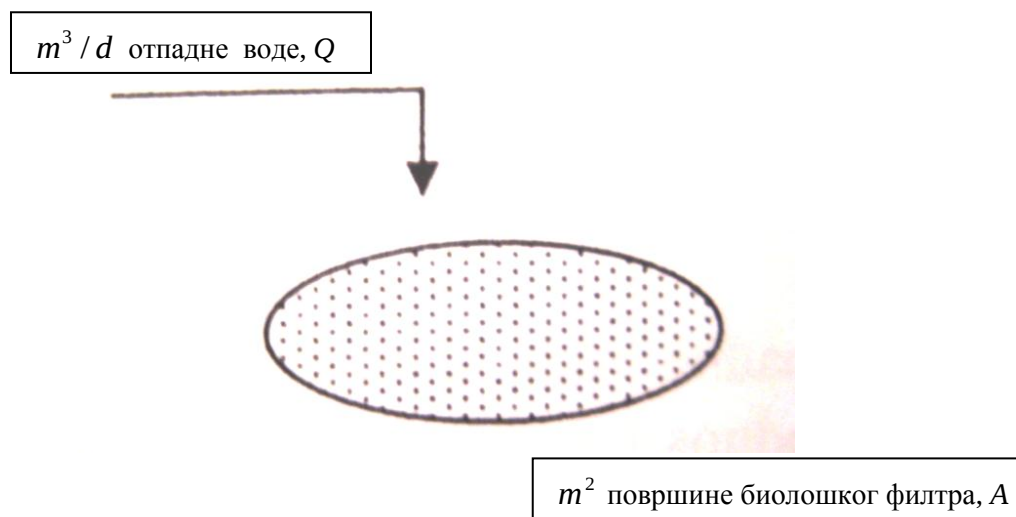
8.3. Хидраулично оптерећење биофилтра

Хидраулично оптерећење биофилтра представља запремину отпадне воде (у m^3) која се дневно обради по површине биолошког филтра (или m^3 испуне). За сваку врсту испуне постоји оптимално хидраулично оптерећење. При протоцима мањим од оптималног нема довољно воде да се искористи сва површина пуњења. Повећање оптерећења изнад оптималног доводи до скраћивања времена задржавања отпадне воде и смањења ефекта пречишћавања. Повећање хидрауличног оптерећења (до одређених граница) поспешује пренос и пенетрацију супстрата и кисеоника у биолошки филм. Оно такође повољно делује на откидање старог филма са подлоге и његово избацивање из филтера.

Математички се хидраулично оптерећење (НО) изражава се као однос протока (Q) површине биолошког филтра (A) и изражава у $m^3/d/m^2$:

$$\text{Хидраулично оптерећење: } NO = \frac{Q}{A}, m^3/d/m^2$$

Хидраулично оптерећење се шемарски може приказати као на слици 8.6:



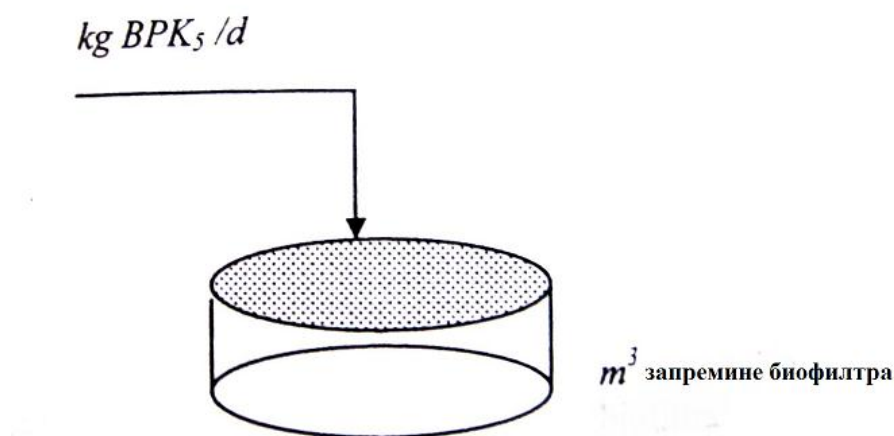
Слика 8.6: Шематски приказ хидрауличног оптерећења биолошког филтра [8]

Дакле, хидраулично оптерећење је важан параметар за функционисање биолошког филтра, јер утиче на време контакта између микороорганизама и хране која улази у биофилтар заједно са улазним током (инфлуентом). Хидраулично оптерећење за стандардне биолошке филтре је обично од $1,5-4,5 \text{ m}^3 / \text{d} / \text{m}^2$, а за високооптерећене биофилтре $4,5-40 \text{ m}^3 / \text{d} / \text{m}^2$ (Metcalf and Eddy Inc, 1991).

Ако је хидраулично оптерећење за одређени биолошки филтар сувише мало почињу да се развијају септички услови. Када се ово деси потребно је повећати хидраулично оптерећење рецикулацијом.

8.4. Органско оптерећење биофилтра

Органско оптерећење биофилтра се назива и BPK_5 оптерећење. Ово се изражава као маса дневног BPK_5 оптерећења у kg по јединици запремине филтра. Шематски је приказано на слици 8.7:



Слика 8.7: Шематски приказ органског оптерећења биолошке филтрације [8]

Органско оптерећење биофилтра се рачуна као: $OO = \frac{BPK_5}{V}, kg/d/m^3$

Органско оптерећење биолошког филтра за стандардне биофилтре износи 0,08-0,4 $kg/d/m^3$, а за високооптерећене 0,4-5 $kg/d/m^3$.

Повећање BPK_5 оптерећења нема исте ефекте као и повећање хидрауличног оптерећења. Повећано хидраулично оптерећење смањује контактено време између хране и микроорганизама и тако може смањити ефикасност биофилтра. Са повећањем BPK_5 оптерећења повећава се број микроорганизама. Сувише високо органско оптерећење доводи донинтезивног раста биомасе, што може изазвати озбиљне сметње и запушавање филтра. Ово се дешава када је присутна велика количина угљених хидрата у отпадној води. Услед високе концентрације супстрата у инфлуенту може доћи до неравномерне расподеле микроорганизама по дубини, при чему ће у горњим деловима доћи до интензивнијег раста.

Да би се обезбедили аеробни услови у биофилтру, BPK_5 отпадних вода не сме бити већи од 500 $mg O_2/l$. Када је у инфлуенту присутна нижа концентрација супстрата раст биофилма је равномернији по целој висини филтра.

9. Пројектовање и математичко моделовање биолошке филтрације

Пројектовање постројења за биолошку филтрацију се базира на емпиријском и семи-емпиријском концепту и балансирању масе. Развијене су математичке једначине за процену ефикасности уклањања органског (BPK_5) загађења на бази фактора, као што су: висина испуне, врста испуне, степен рецикулације, температура и оптерећење.

За пројектовање биолошких филтра са испуном од камена најчешће се користи тзв. NRC формула (National Research Council) развијена за време Другог светског рата у САД (NRC, 1946).

За пројектовање биолошких филтра са пластичном испуном најчешће се користе Ецкенфелдер-ова (1963) и Гермаин-ова формула (1966). Eckenfelder -ова једначина представља експоненцијалну формулу која описује уклањање органског оптерећења као реакцију псеудо-првог реда:

$$S_e / S_i = \exp[-KA_s^{1+m}D/q^n]$$

где је:

S_e - растворни BPK_5 ефлуента, mg/l

S_i - растворни BPK_5 инфлуента, mg/l

K - константа брзине реакције, m/d

A_s - специфична површина, m^2/m^3

D - дебљина испуне, m

q - улазни волуметријски проток – Q/A

Q - улазни проток, m^3/d

A - површина попречног пресека филтера, m^2

m, n - емпиријске константе зависне од врсте испуне филтра.

Средње време контакта отпадне воде и филтрационог медија (испуне филтра) зависи од дебљине испуне филтра, хидрауличног оптерећења и врсте испуне. Може се изразити следећом једначином:

$$\frac{t}{D} = \frac{C}{q^n} = \frac{C}{(Q/A)^n} \text{ и } C \cong 1/D^m$$

где је:

t - средње време задржавања

C, n, m - константе зависне од специфичне површине и врсте и конфигурације паковања

Гермаин је 1966. предложио следећу реакцију првог реда за уклањање органског загађења у биолошком филтру са пластичном испуном која, у суштини, представља поједностављен облик Ецкенфелдер-ове једначине:

$$S_e / S_i = \exp[-k_{20} D / q^n]$$

где је:

S_e - укупан BPK_5 ефлуента, mg/l

S_i - растворни BPK_5 инфлуента, mg/l

k_{20} - константа третмана која одговара дебљини филтера на $20^\circ C$

D - дебљина испуне, m

Q - хидраулично оптерећење, $m^3 / m^2 \cdot d$

n - експоненцијална константа зависна од врсте испуне филтра, обично 0,5.

Константа третмана се мора кориговати за различите дебљине биолошког филтра уколико је вредност утврђена само за једну дебљину. У ту сврху Албертсон и Давис, 1984. су предложили следећу једначину:

$$k_2 = k_1 (D_1 / D_2)^x$$

где је:

k_2 - константа третмана која одговара дебљини D_2 филтера 2

k_1 - константа третмана која одговара дебљини D_1 филтера 1

D_1 - дебљина испуне 1, m

D_2 - дебљина испуне 2, m

x - 0,5 за вертикалне филтере са испуном од камена

0,3 за проточне филтере са пластичном испуном.

Вредности k_1 и k_2 зависе од карактеристика отпадне воде и од дебљине и врсте испуне, површине филтра, хидрауличког оптерећења филтра и од начина дозирања отпадне воде.

Утицај температуре. Температура значајно утиче на уклањање BPK оптерећења биолошком филтрацијом. Утицај температуре на константу третмана k из предходног израза се може описати следећом једначином:

$$k_T = k_{20} \cdot 1,035^{T-20}$$

Брзина дистрибутера. Начин и брина дистрибуције отпадне воде тј. BPK_5 загађења су значајна за укупну ефикасност третмана обраде. Најчешће се користи ротациони дистрибутер. Брзина дистрибуције отпадне воде ротационим дистрибутером се може описати следећом једначином:

$$n = \frac{0,00044q_t}{\alpha(DR)}$$

где је:

n - ротациона брзина дистрибутера, o/min

q_t - укупно хидрауличко оптерећење, $q_t = q + q_r$, $m^3/(m^2 \cdot d)$

q - хидрауличко оптерећења инфлуента, $m^3/(m^2 \cdot d)$

q_r - хидрауличко оптерећења инфлуента у рецикулацији, $m^3/(m^2 \cdot d)$

α - број рука у ротационом дистрибутеру

DR - брзина дозирања (dosing rate), cm/hod руке дистрибутера.

Брзина дозирања изражена у cm/hod руке капајућег филтра се може грубо одредити множењем BPK_5 оптерећења у kg/m^3 са фактором 0,30. [8]

10. Прорачун биолошког филтра

За прорачун биолошког филтра узета је општина Рача, која има 12.960 ЕС (према попису становништва из 2002. год.), односно 11.475 ЕС (према попису из 2011. год.), што одговара одабраној технологији. Прорачун је урађен у софтверском пакету Mathcad. Док је 3Д модел урађен у софтверском пакету Satia. Потребно је испројектовати биолошки филтар са пластичном испуном дебљине 8 m, за обраду градске отпадне са карактеристикама:

Средњи годишњи проток отп. вода домаћинства Q	8 164 m ³ / d
Проток индустријских отп. вода	3 500 m ³ / d
Укупан BPK ₅ инфлуента вода из домаћинства	240 mg / l
BPK ₅ инфлуента вода из домаћинства и индустрије	520 mg / l
Крајњи BPK ₅ инфлуента	≤24 mg / l
Вредност k на 26°C и за D = 6m [8]	0,27 (l / s) ^{0,5} / m ²
Температура (радна) летња	20°C
Температура (радна) зимска	10°C
Константа n	0,5

1. Прво је неопходно израчуна вредност коефицијента k на 20° C за дебљину испуне 6m

$$k_{20@6} = k_{26@6} \cdot 1,035^{T-26}$$

$$= 0,27 (l / s)^{0,5} / m \times 1,035^{20-26} = 0,22 (l / s)^{0,5} / m^2$$

2. Затим се врши кориговање вредности k за дебљину испуне од 8 m, коришћењем једначине:

$$k_2 = k_1 (D_1 / D_2)^x$$

За дебљину испуне од 8m:

$$k_{20@8} = k_{20@6} (6/8)^{0,3} = 0,201 (l / s)^{0,5} / m^2$$

3. Израчунавање летњег укупног протока (Q)

Летњи проток је једнак збиру протока градске отпадне воде и индустријске отпадне воде:

$$Q = (8164 + 3500) m^3 / d$$

$$= 11664 m^3 / d \cdot 1000 l / m^3 \div 86400 s / d = 135 l / s$$

4. Израчунавање површине филтра (A) при дебљини испуне од 8m и у летњем периоду.

$$S_e / S_i = \exp[-k_{20} D / q^n]$$

$$\ln S_e / S_i = -k_{20} D / (Q / A)^n$$

$$A = Q [-(\ln S_e / S_i) / k_{20} / D_2]^{1/n}$$

$$A = 135 [-(\ln 24 / 520) / 0,201 \cdot 8]^{1/0,5} = 493,936 m^2$$

5. Израчунавање површине биолошког филтра при дебљини испуне од 8 m за време лета на 10 ° C која би одговарала стандардима прописаним за ефлуент.

а) Израчунавање k_{10} за дебљину испуне од 6m:

$$k_{10@6} = 0,27 (l / s)^{0,5} / m^2 \cdot 1,035^{10-26} = 0,156 (l / s)^{0,5} / m^2$$

б) Корекција k_{10} вредности за дебљину испуне 8m:

$$k_{10@8} = 0,156 (l / s)^{0,5} / m^2 \cdot (6/8)^{0,3} = 0,143 (l / s)^{0,5} / m^2$$

ц) Израчунавање протока Q:

$$Q = 8164 m^3 / d \cdot 1000 l / m^3 \div 86400 s / d = 94,491 l / s$$

д) Израчунавање потребне површине (A):

$$A = 94,491 [-(\ln 24 / 240) / (0,143 \cdot 8)]^2 = 383,68 m^2$$

6. Избор потребне пројектоване површине

Потребна пројектована запремина је контролисана летњим условима. Пошто је површина потребна за летњи период већа, потребна пројектована површина је 493,936 m².

7. Израчунавање укупног хидрауличког оптерећења, q_t :

а) За лето

$$q_t = \frac{Q}{A} = \frac{11664 \text{ m}^3 / d}{493,936 \text{ m}^2} = 23,614 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot d)$$

б) За зиму

$$q_t = 8164 \text{ m}^3 / d \div 493,936 \text{ m}^2 = 16,528 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot d)$$

8. Израчунавање органског оптерећења, ВРК:

а) За лето:

$$V = 8 \text{ m} \cdot 493,936 \text{ m}^2 = 3951 \text{ m}^3$$

$$BPK = \frac{11664 \text{ m}^3 / d \cdot 520 \text{ g} / \text{m}^3}{3951 \text{ m}^3 \cdot 1000 \text{ g} / \text{kg}} = 1,535 \text{ kg} / (\text{m}^3 \cdot d)$$

б) За зиму:

$$BPK = \frac{8164 \text{ m}^3 / d \cdot 240 \text{ g} / \text{m}^3}{3951 \text{ m}^3 \cdot 1000 \text{ g} / \text{kg}} = 0,496 \text{ kg} / (\text{m}^3 \cdot d)$$

9. Израчунавање ротационе брзине ротирајућег дистрибутера (n):

Напомена: Потребна брзина дозирања у cm / hod руке капајућег филтра се може приближно одредити множењем ВРК оптерећења у kg / m^3 са 0,30.

а) За лето (из тачке 8а) брзина дозирања DR (dosing rate) је:

$$DR = 1,535 \cdot 0,3 = 0,46 \text{ cm} / \text{hod}$$

Коришћењем две руке у ротирајућем дистрибутеру, $\alpha = 2$

$$n = \frac{0,00044 \cdot q_t}{\alpha \cdot (DR)} = 0,011 \text{ o} / \text{min}$$

б) За зиму (из тачке 8б):

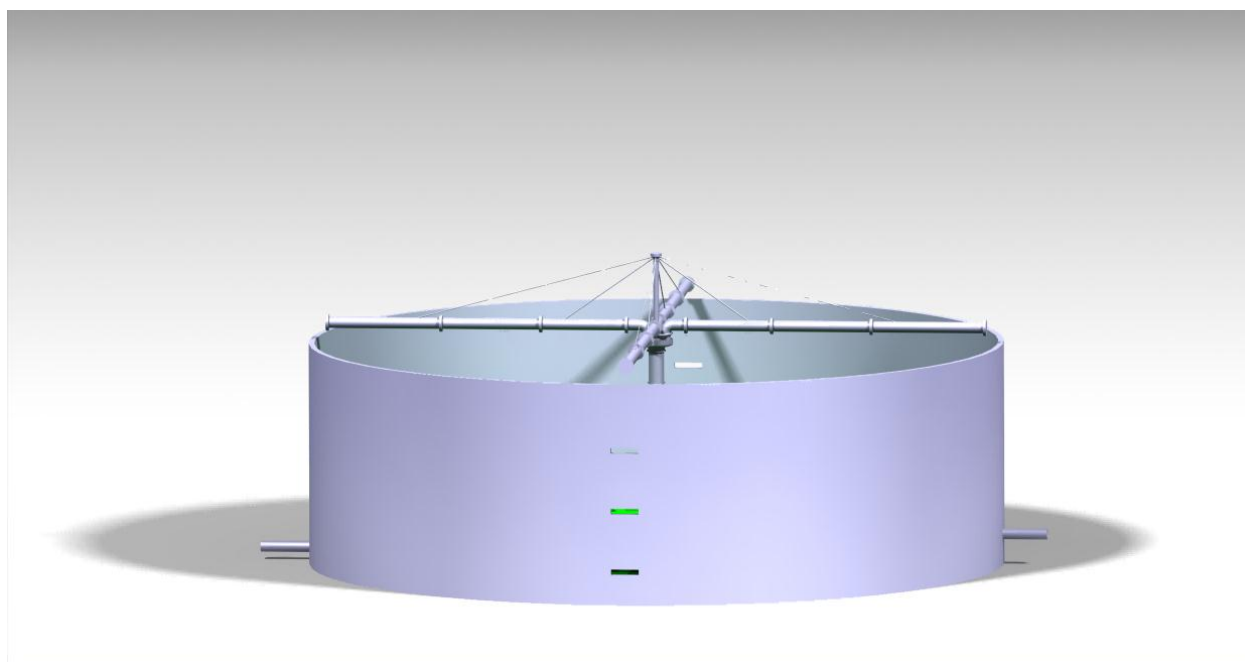
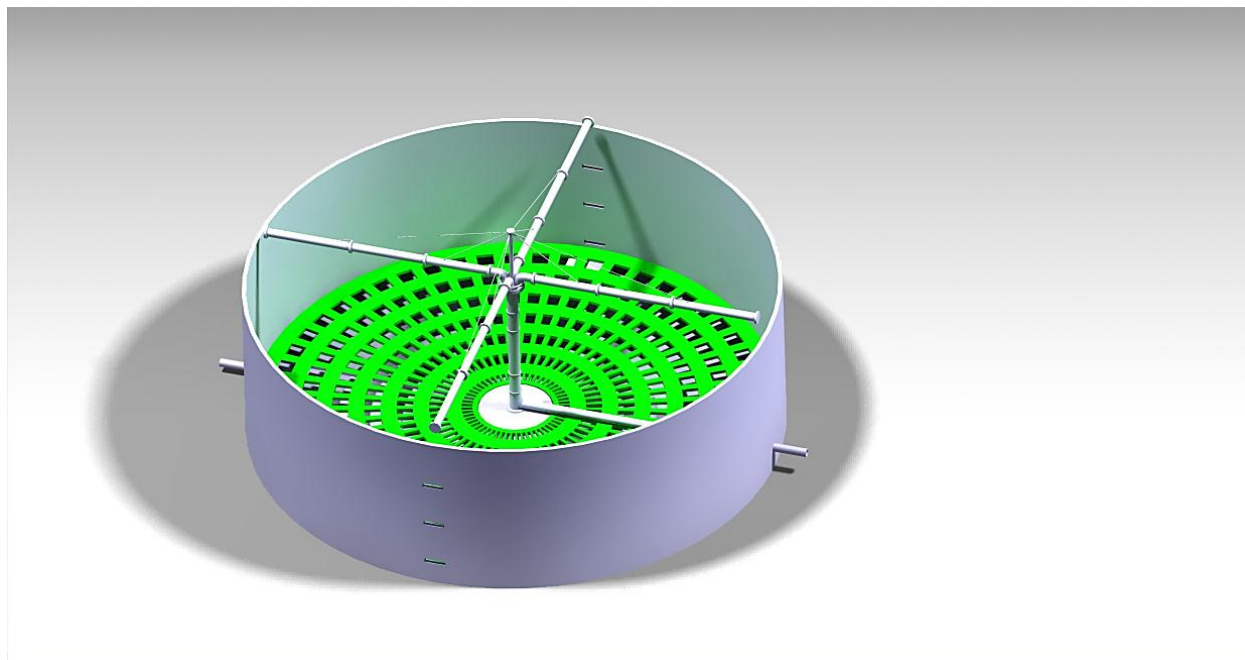
$$DR = 0,496 \cdot 0,3 = 0,419 \text{ cm} / \text{hod}$$

из тачке 7б:

$$q_t = 16,528 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot d)$$

$$n = \frac{0,00044 \cdot q_t}{\alpha \cdot (DR)} = 0,024 \text{ o/min}$$

-3Д модел капајућег филтра:



11. Закључак

Свет је суочен са највећом до сада забележеном кризом снабдевања водом, Уједињене Нације су упозориле на прогнозу да ће средином 21. века чак седам милијарди људи бити суочена са недостатком воде, јер број становника планете расте, а водени ресурси су све мањи.

Осим смањења количине расположиве воде, свету прети и опасност од дугорочног загађења постојећих резерви. Сваке године у медитеранским земљама заврши око 120 000 тона минералних уља, 12 000 тона фенола, 60 000 тона детерџента, 100 тона живе, 3 800 тона олова, 2 400 тона хрома, 21 000 тона цинка, 320 000 тона фосфора, који се једноставно излију у реке, мора и друге водене површине. Све ове материје се врло споро разређују чистом водом из околних водотокова и мора. Чврсте материје, напротив, захтевају изузетно дуг временски период за разградњу у води - од неколико недеља за папирну амбалажу, па све до неколико стотина година за пластику.

У Србији само 19 у општина постоје постројења за пречишћавања отпадних вода (ППОВ), 14 са биолошким, а 5 са механичким пречишћавањем. Само у 7 општина је почела изградња ППОВ, од тога 6 постројења са биолошким третманом. Када ове податке упоредимо са бројем становника који су повезани на канализациони систем, подаци су поражавајући, јер је само 16% становника прикључено на ППОВ, што показује стање наше земље у овој области.

Пошто је биолошко филтрирање поступак који се углавном користи за пречишћавање воде мањих насеља и предходну обраду појединих индустријских отпадних вода, ово је права технологија коју треба искористити где је ЦППОВ у техно-економском смислу не исплативо, јер је пречишћавање отпадних вода малих насеља најтеже решив проблем. Поготово имајући у виду да је по бројности то далеко највећа група загађивача воде у земљи.

Оно што је ретко, скупо је. Вода као најважнија ствар на свету, напротив, нема цену.
(Платон, 427-347. године п.н.е.)

12. Литература

[1] Vanja Šušteršič; Tehnologije i postrojenja za tretman otpadnih voda – skripta, Mašinski fakultet; Kragujevac; 2008.

[2] <http://studenti.rs/skripte/biologija-ekologija/preciscavanje-industrijskih-otpadnih-voda/> приступљено сајту: 18.06.2013.

[3] http://sr.wikipedia.org/sr/%D0%98%D0%BD%D0%B4%D1%83%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%98%D1%81%D0%BA%D0%B5_%D0%BE%D1%82%D0%BF%D0%B0%D0%B4%D0%BD%D0%B5_%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%B5

приступљено сајту: 18.06.2013.

[4] <http://www.cefex.rs/projekti/znanje-podeli-nagradu-osvoji/item/753-otpadne-vode> приступљено сајту : 18.06.2013.

[5] www.mfkv.kg.ac.rs/index.php/studentski-servis/.../221-predavanja-1

приступљено сајту : 18.06.2013.

[6] Дејан Љубисављевић, Александар Ђукић, Бранислав Бабић: Пречишћавање отпадних вода, Грађевински факултет, Београд, 2004.

[7] Др Мунир Б. Јахић: Пречишћавање загађених вода, Нови Сад, 1990.

[8] Љиљана Мојовић: Биолошка обрада отпадних вода, Збирка решених задатака са теоријским основама, Технолошко - металуршки факултет, Београд, 2004.

[9] <http://www.sepa.gov.rs/download/konf2009/13.Zastita%20voda.pdf>, Министарство животне средине и просторног планирања, АГЕНЦИЈА ЗА ЗАШТИТУ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ ЗАШТИТА ВОДА, Др Небојша Вељковић, дипл. инж. и Милорад Јовичић, дипл. инж. приступљено сајту: 30.06.2013.

[10] <http://www.rdvode.gov.rs/> приступљено сајту: 30.06.2013.

[11] <http://www.jcerni.org/sr/general/2010-06-24-16-24-13/selected>, приступљено сајту: 30.06.2013.

[12] <http://mojahercegovina.com/resavanje-problema-otpadnih-voda-u-gacku/> приступљено сајту: 30.06.2013.

[13] http://www.cecra.dh.pmf.uns.ac.rs/palic2011/Okrugli%20sto_BAT%20za%20industriske%20i%20komunalne%20otpadne%20vode.pdf Природно-математички факултет, Нови Сад,

Округли сто: Најбоље доступне технологије за индустријске и комуналне отпадне воде, приступљено сајту: 30.07.2013

[13] http://www.aquainterma.rs/tretman_otpadnih_voda.html приступљено сајту: 30.06.2013.

[14] <http://www.riparia.org.rs/aqua/images/taloznik.jpg>, приступљено сајту: 30.06.2013.

[15] <http://www.scribd.com/doc/138106060/1-Aerobni-Sistemi-Za-Tretman-Otpadnih-Voda>, приступљено сајту : 30.06.2013.