

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: 313/2011

Ивана С. Пешић

Биолошко пречишћавање отпадних вода са активним муљем

мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

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

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да у оквиру уводних разматрања о отпадним водама и њиховом биолошком пречишћавању са активним муљем, изврши димензионисање уређаја конвенционалног постројења са активним муљем за 75 000 еквивалентних становника (ES).

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] Mark Hamer, Mark Hamer Jr: Water and Wastewater Technology, Pearson, Prentice Hall, 2004.

Крагујевац, мај 2013.

ментор:

др Вања Шуштершич, ванр. проф.

РЕЗИМЕ

У оквиру овог рада посебна пажња је посвећена биолошком пречишћавању отпадних вода са активним муљем, као и димензионисању уређаја за конвенционална постројења са активним муљем. Први део рада базира се на пореклу и подели отпадних вода, њиховом саставу и карактеристикама. Описани су и поступци обраде отпадних вода као и процеси који се примењују у њиховој обради.

Други део рада чине истраживања у области примене активног муља, рађена на постројењу отпадних вода у Суботици, док трећи део представљају објекти и уређаји за биолошко пречишћавање отпадних вода и њихово димензионисање.

Кључне речи: отпадне воде, биолошко пречишћавање, активан муљ.

ABSTRACT

In this paper, special attention was paid to the biological wastewater treatment involving active mud, and dimensioning equipment for conventional facilities involving active mud. The first part is based on the origin and division of wastewater, their composition and characteristics. Described are proceedings of wastewater treatment as well as processes that are applied in their processing.

The second part make the research in the field of application of activated sludge, adapted from on wastewater treatment plant in Subotica, while the third part is the objects and devices used the biological treatment of wastewater and dimensioning.

Key words: wastewater, biological purification, active sludge.

Садржај:

1. Увод	1
2. Подела отпадних вода	2
2.1. Атмосферске отпадне воде	3
2.2. Комуналне отпадне воде	3
2.3. Пољопривредне отпадне воде	3
2.4. Индустијске отпадне воде	4
3. Састав и карактеристике отпадних вода	5
3.1. Физичке карактеристике	5
3.1.1. Сува материја	5
3.1.2. Боја	5
3.1.3. Мирис	6
3.1.4. Температура	6
3.2. Хемијске карактеристике	6
3.2.1. Органске материје	6
3.2.2. Биохемијска потрошња кисеоника (БПК)	7
3.2.3. Хемијски потребна количина кисеоника (ХПК) ..	8
3.2.4. Укупан органски угљеник(ТОЦ)	8
3.2.5. Протеини, угљени хидрати, уља и масти	9
3.2.6. Специфична органска једињења: површински активне материје, пестициди, феноли	9
3.2.7. Неорганске материје	9
3.2.8. Азот, фосфор, сумпор	10
3.2.9. рН алкалитет, киселост	10
3.2.10. Тешки метали, токсичне супстанце	10
3.3. Биолошке карактеристике	11

3.3.1. Микробиолошка испитивања	11
3.3.2. Биолошка испитивања	11
4. Поступци обраде отпадних вода	12
4.1. Механичка претходна обрада	13
4.2. Физичко – хемијска обрада	13
4.2.1. Коагулација и флокулација	13
4.2.2. Флотација	14
4.2.3. Адсорпција	14
4.2.4. Јонска измена	15
4.3. Биолошка обрада	15
4.3.1. Аеробни процеси	19
4.3.2. Анаеробни процеси	29
5. Истраживања у области примене активног муља у третману отпадних вода	30
6. Објекти и уређаји за биолошко пречишћавање отпадних вода.....	33
6.1. Објекти за биолошко пречишћавање отпадних вода.....	33
6.1.1. Конвенционално постројење	33
6.1.2. Степенасто додавање кисеоника	35
6.1.3. Модификована аерација	35
6.1.4. Високо оптерећено постројење	35
6.1.5. Степенасто додавање отпадне воде	35
6.1.6. Контактна стабилизација (био - сорпција)	36
6.1.7. Постројење са потпуним мешањем	37
6.1.8. Продужена аерација	38

6.1.9. Оксидациони јарак	38
6.1.10. Карусел	39
6.1.11. Комбинована постројења	40
6.1.12. Постројење са чистим кисеоником	40
6.2. Уређаји за биолошко пречишћавање отпадних вода.....	41
6.2.1. Биоаерациони базен	41
6.2.2. Секундарни таложник	43
7. Прорачун конвенционалног постројења са активним муљем	45
7.1. Димензионисање базена за аерацију	48
7.2. Димензионисање секундарног таложника	49
7.3. Основни параметри који се користе при прорачуну конвенционалног постројења са активним муљем.....	52
8. Закључак	62
9. Литература	63

1. Увод

У 21. веку животна средина постаје све више загађена, а површинске и подземне воде, су директно и индиректно, угрожене услед свакодневног изbacивања отпадних вода најразличитијег састава. Састав индустријске отпадне воде је непосредна функција састава сировина, међупроизвода и крајњег производа технолошког процеса у току кога је настала. Међутим пошто се вода користи како непосредно у технолошком процесу и операцијама, тако и у помоћним операцијама – за хлађење индустријских постројења, то се у индустријској отпадној води налазе следећи облици отпадних вода:

- загађена вода из технолошког процеса коју карактерише висок степен загађености
- вода од хлађења која садржи безначајне количине загађивача
- извесна количина санитарних отпадних вода

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.

2. Подела отпадних вода

Отпадне воде су мешавина воде и отпадака из станова, јавних грађевина, са јавних површина и индустрије. Отпадне воде су хигијенски значајне због садржине штетних и токсичних материја које могу загадити земљиште, воду и ваздух, а тиме и угрозити здравље људи.

Разлагањем отпадака у отпадним водама настају кисеоник, угљендиоксид, амонијак, метан, водониксулфид и др. Они загађују животну средину (земљиште, воду, ваздух). Епидемиолошки значај отпадних вода огледа се у повољним условима за живот и размножавање бактерија, паразита и вируса.

Према пореклу отпадне воде се деле на:

- Атмосферске
- Комуналне
- Пољопривредне
- Индустријске

Отпадне воде се најчешће разграђују комбиновано. У првој фази док има раствореног кисеоника разградња је аеробна, а након тога анаеробна. На крају се добија стабилна отпадна вода са разложеним органским материјалом. На степен загађености отпадне воде органским материјама указује количина кисеоника потребна за њихову оксидацију. Утрошена количина кисеоника се назива биохемијска потрошња кисеоника (БПК). [1]

За оцену степена загађености отпадних вода се користи и одређивање:

- хемијске потрошња кисеоника(ХПК)
- количине раствореног кисеоника
- нитрита
- нитрата
- суспендованих материја
- растворљивих материја
- присуства специфичних једињења и елемената (Pb, As, Hg и др.)

2.1. Атмосферске отпадне 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 хидраулично 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.

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. [1]

2.2. Комуналне отпадне воде

Комуналне отпадне воде (отпадне воде насеља) настају као резултат животне активности становништва и од пратеће делатности које је опслужују. Оне углавном садрже:

- органске материје, (остаци хране, физиолошке излучевине људи и др.)
- неорганске материје (средства за прање и хигијену, соли и чврсти отпацаиразличитог састава).

Отпадне воде насеља карактерише велика бактериолошка загађеност која највећим делом потиче од људских фекалија. Оне могу да садрже узрочнике заразних болести и паразита, нарочито ако потичу из кланица. [1]

2.3. Пољопривредне отпадне 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 ХПК, тврдоћа воде, садржај фосфора, нитрата и пестицида. Реч је о високом органском загађењу, са присутним органским материјама у таложном облику и садржају амонијака. [1]

2.4. Индустијске отпадне воде

Индустијске отпадне воде настају употребом воде у технолошком процесу, тј. потичу из производних процеса и обухватају процесне, расхладне, санитарне и отпадне воде од чишћења опреме. Проблем индустијских отпадних вода је изузетно велики. Стога је на нивоу Европске Уније донета Директива 91/271/ЕЕЦ од 21. маја 1991. где су индустијске воде дефинисане као било која отпадна вода која се излива из просторија које се користе за вршење занатске или индустијске делатности, осим отпадне воде из домаћинства и отицаја од кишнице.

Индустијске отпадне воде деле се у две групе:

- Прва група - биолошки разградиве и могу се мешати са комуналним (кућним) отпадним водама;
- Друга група - биолошки неразградиве и могу се мешати са комуналним (коћним) отпадним водама, али уз употребу хемијског предтретмана.

Отпадне воде из прехранбене индустрије, кожара и фабрика хартије смањују кисеоник растворен у води реципијента, чиме се смањује моћ самопречишћавања водотока и настају делимичне промене животних услова.

Термоелектране користе, за хлађење својих агрегата, воду при чему настаје отпадна вода повишене температуре. [1]

У *табели 2.1.* приказане су опште карактеристике градских и индустијских отпадних вода.

Табела 2.1. Опште карактеристике градских и индустијских отпадних вода

Карактеристика	Комуналне отпадне воде	Индустијске 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

3. Састав и карактеристике отпадних вода

Уобичајена подела отпадних вода са аспекта њених карактеристике је на:

ФИЗИЧКЕ	ХЕМИЈСКЕ	БИОЛОШКЕ
---------	----------	----------

3.1. 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.

3.1.1. 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 талога (муља) која би доспела у реципијент и која се уклања у уређајима за таложење.[2]

3.1.2. 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. [2]

3.1.3. 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. [2]

3.1.4. 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. [2]

3.2. 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.

3.2.1. 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” (БПК). Као мера органских материја које могу да буду биолошки оксидисане одређује се „хемијска потрошња кисеоника” (ХПК) и „укупни органски угљеник” (ТОЦ, од *Total Organic Carbon*). [2]

3.2.2. Биохемијска потрошња кисеоника (БПК)

БПК 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 ХПК. На пример, биолошка реакција оксидације гликозе завршава се након потрошње 150 g O_2 по молу гликозе, док ХПК вредност износи 192 g O_2 по молу гликозе.

Присутност биолошки неразградивих материја у отпадној води манифестује се већом вредношћу ХПК у односу на БПК. У биолошки неразградиве органске материје спадају: целулоза, угљена прашина, лигнин, танин и већина од низа синтетичких органских једињења. Однос ХПК/БПК₅ 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 (БПК). Потребна количина кисеоника пропорционална је присутној количини органских материја.

У табели 3.1. дат је приказ вредности БПК за неке непречишћене индустријске воде. [2]

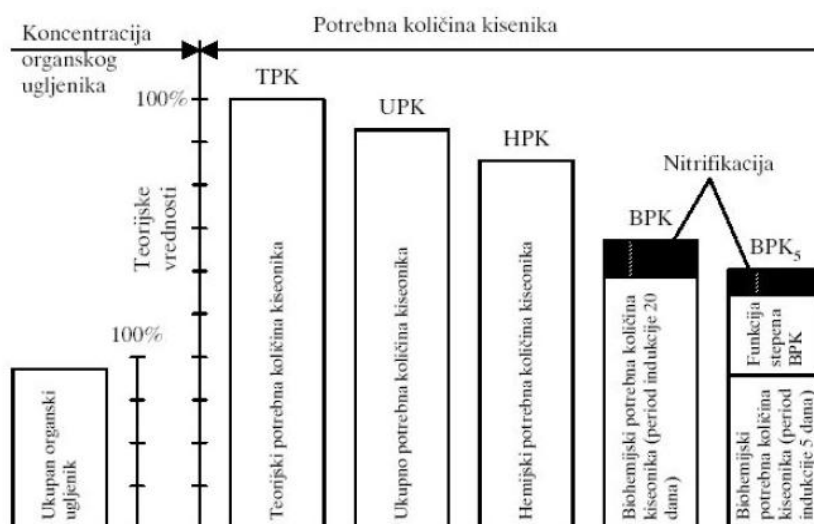
Табела 3.1. Вредност БПК за неке непречишћене индустријске воде

Отпадна вода	БПК, 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

3.2.3. Хемијски потребна количина кисеоника (ХПК)

Хемијски потребна количина кисеоника (ХПК) и укупно потребна количина кисеоника (УПК) су такође показатељи концентрације органских компонената (слика 1). ХПК је хемијски потребна количина кисеоника за оксидацију органских компонената и неорганских соли, и представља показатељ загађености отпадних вода. ХПК се најчешће изражава потрошњом O_2 у mg/L.

Најбољи показатељ концентрације органских компонената је теоријска вредност ХПК, која одговара количини кисеоника потребној за оксидацију органског угљеника. Одређује се на основу стехиометријских једначина реакција оксидације. ХПК карактерише оксидација компонената само у CO_2 , H_2O и NH_3 . [2]



Слика 3.1. Приказ метода мерења концентрација органских компонената

3.2.4. Укупан органски угљеник (ТОЦ)

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 BPK и ХПК), 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 BPK и ХПК. То значи да је ТОЦ бољи показатељ садржаја органских материја у отпадној води од BPK и ХПК, али како ТОЦ не даје исту врсту информација то се њиме не замењује одређивање BPK и ХПК. Међутим, уколико се за поједине отпадне воде могу утврдити односи ТОЦ према BPK и ХПК тада се ТОЦ може користити за процену BPK и ХПК тих вода. [2]

3.2.5. 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. [2]

3.2.6. 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 детерџента) 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. [2]

3.2.7. 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. [2]

3.2.8. 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. [2]

3.2.9. рН, алкалитет, киселост

Веома важна карактеристика отпадне воде је и њена рН вредност, јер ће екстремни рН 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 рН квалитативни показатељ, садржај алкалија/киселина (тзв. титрациони алкалитет/киселост) је квантитативни показатељ, неопходан у процесима хемијске обраде воде. [2]

3.2.10. 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. [2]

3.3. 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.

3.3.1. 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. [2]

3.3.2. 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. [2]

4. Поступци обраде отпадних вода

Пречишћавање употребљене воде обухвата низ операција и поступака којима се из воде уклањају суспендоване и растворене супстанце, односно врши се смањење загађујућих материја до оних количина или концентрација са којима пречишћене употребљене воде испуштене у природне водене системе не представљају опасност за живе организме и не узрокују нежељене промене у животној средини.

Садржај опасних материја у отпадним водама може да буде различит, како по количини, тако и по врсти присутних материја. [2]

Према степену градације поступци пречишћавања отпадних вода се могу поделити на:

1. Примарно пречишћавање,
2. Секундарно пречишћавање и
3. Терцијално пречишћавање.

Примарно пречишћавање отпадних вода може да обухвата следеће поступке: уједначавање количина и оптерећења отпадних вода, уклањање грубог материјала, уклањање лако таложивих суспендованих честица, уклањање слободних уља и масти, као и поступке уклањања суспендованих честица.

Секундарно пречишћавање отпадних вода обухвата поступке уклањања диспергованог и раствореног биолошки разградљивих органских загађујућих материја. Ови поступци су засновани на активности одговарајуће микрофлоре, која користи биолошки разградљиве органске материје као свој сурогат.

Терцијално пречишћавање отпадних вода обухвата поступке уклањања азота и фосфора.

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.

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, таложење, 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 издвајање инертних честица, флотација масти и уља, унос одређене количине кисеоника у воду, као и десорпција неких гасова из воде. [2]

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. Ови агрегати (честице) имају димензије 10^{-7} до 10^{-5} cm и не могу да се таложу под утицајем земљине теже, већ остају суспендовани у течности. 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 (FeOH_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 талоба. [2]

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. [2]

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 $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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.

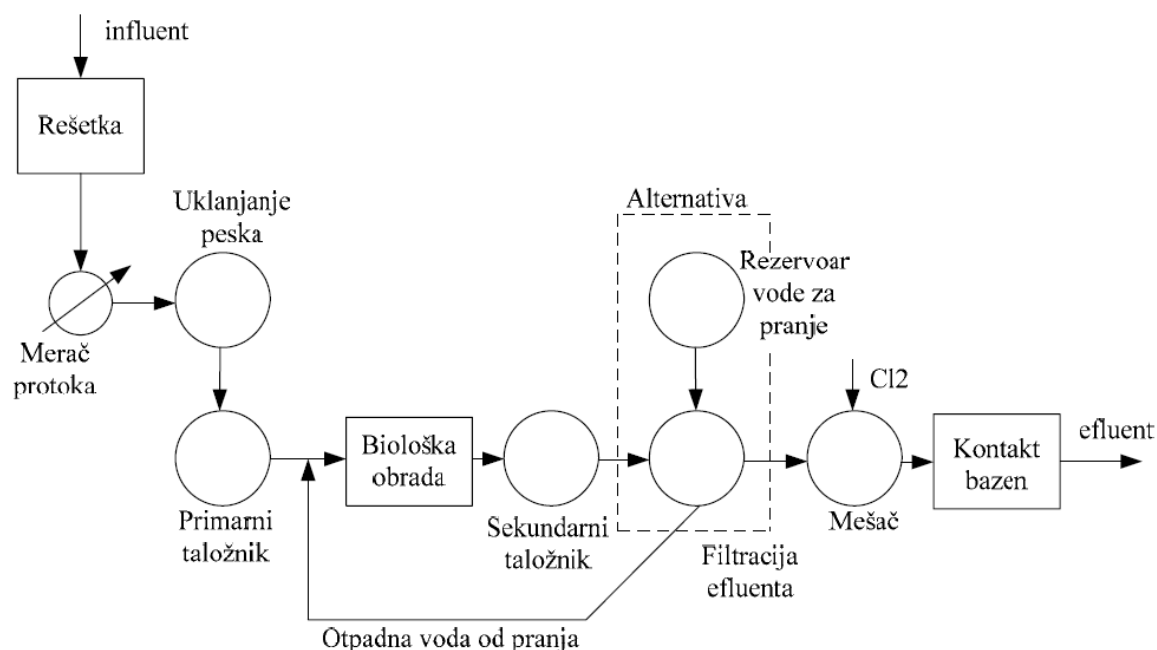
Јонска измена је ефикасан начин пречишћавања отпадних вода. Њоме се уклањају скоро сви јони из воде, међутим након одређеног времена јоноизмењивач се засити па је неопходно извршити регенерацију са катјонима и ањонима, а најчешће са растворима HCl и NaOH. [2]

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 (органски 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. [2]

4.3. Биолошка обрада

Биолошки процеси пречишћавања заснивају се на активности комплексне микрофлоре, која у току свог животног циклуса усваја органски и (мали) део неорганских материја које чине загађење отпадне воде, користећи их за одржавање животних активности и за стварање нових ћелија. Након завршеног пречишћавања обави се, на погодан начин сепарација микрофлоре и пречишћење отпадне воде у којој заостаје мала количина органске материје која је биолошки неразградива као и продукти метаболизма које је микрофлора излучила у воду. Биолошким пречишћавањем је могуће из отпадне воде уклонити највећи део органског загађења, али је није могуће у потпуности пречистити.



Слика 4.1. Технолошка шема биолошке обраде отпадних вода

Од свих метода, за пречишћавање отпадних вода загађених органским материјама, најбоље су биолошке методе. Микроорганизми користе органске материје из загађене воде као храну, претварајући тако органску материју у нешкодљиве продукте. За пречишћавање загађених вода најзначајнији микроорганизми су: бактерије, гљивице и алге. Бактерије су пречника 0,3 - 30 μm , а састоје се од малих ћелија. Могу бити спиралног, сферног облика или у облику штапића. Бактерије лако окружују отпадне материје и својим ензимима катализују реакције разградње. [2]

Биолошки процеси пречишћавања су у основи исти као и процеси самопречишћавања у природним водама, разлика је у томе што се биолошки поступци заснивају на већој или мањој контроли раста и развоја микрофлоре и по томе су сличнији процесима индустријске микробиологије, од којих се пак разликују у неколико битних елемената:

- микрофлора потиче из природне средине а њен раст и развој се не одвијају у оптималним физиолошким условима;
- концентрација супстрата је обично прениска (у неким случајевима и превисока) за оптималан раст и развој микрофлоре;
- процес се води у циљу разградње органских материја а не у циљу стварања биомасе или продукта метаболизма микрофлоре.

Задатак биолошког пречишћавања је да се у што већој мери уклоне биолошки разградљиве органске материје. Разградњу органских материја врше различите врсте микроорганизама.

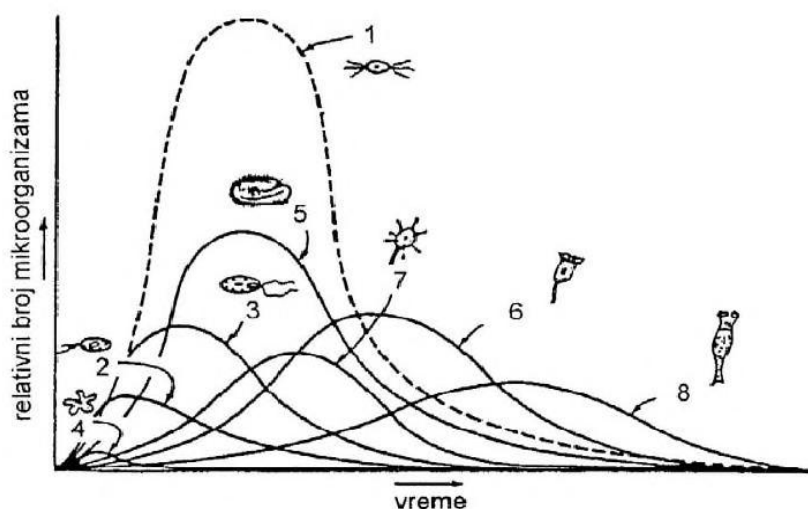
Биолошким пречишћавањем колоидне и растворене органске материје превode се у облик мање или више стабилизованог муља, који се пре испуштања отпадне воде у природну средину мора из воде одстранити таложењем. [2]

Биолошки процеси се такође користе и за уклањање азота (као биогеног елемента) из отпадних вода, процесима нитрификације и денитрификације.

Биолошким путем се може уклонити и органска фракција муљева који настају током примарног пречишћавања отпадне воде (примарни муљ), и разградити вишак биомасе микрофлоре из процеса биолошког пречишћавања отпадне воде (секундарни муљ), што се назива (биолошка) стабилизација муљева или дигестија.

За ефикасно биолошко пречишћавање отпадне воде потребно је да се подесе и одржавају повољни услови у животној средини (отпадној води), то су:

- рН вредност,
- температура,
- садржај битних хранљивих елемената и елемената који су потребни у траговима,
- подесна концентрација кисеоника, или његово одсуство,
- одговарајући хидродинамички услови (одржавања активног муља у суспензији или обраштаја погодне дебљине на испуни биолошког филтра).
- За раст микроорганизама такође је потребно да остану у систему довољно дуго време, ради размножавања. Овај период зависи од њихове брзине раста, која одговара брзини којом они метаболизују, односно користе отпадне материје из отпадне воде. [3]



Слика 4.2. Организми за процес разградње органске материје су: бактерије(1), фитофлагелате (2), зоофлагелате - хране се хранљивим материјама и бактеријама (3), амебе (4), слободне цилијате (5), везане цилијате (6), суцториа (7), ротифере (8).

Биолошки процеси пречишћавања воде могу се одвијати као **аеробни** и **анаеробни**, уз помоћ аеробних и анаеробних микроорганизама. [3]

Табела 4.1. Предности и мане аеробног и анаеробног процеса пречишћавања

АЕРОБНИ	АНАЕРОБНИ
УСЛОВИ	УСЛОВИ
Најбоље за отпадне воде са малом концентрацијом	Само за средње и високо концентроване отпадне воде
За хладне отпадне воде	За топлије отпадне воде (>22°C)
Токсичне компоненте су прихватљиве под одређеним условима	Нису дозвољене токсичне компоненте
Често је захтевна неутрализација алкалних отпадних вода	Могућ је третман алкалних отпадних вода без неутрализације
ПРОЦЕС	ПРОЦЕС
Само континуалан, нису дозвољени дугачки прекиди	Сезонски рад је могућ
Ниске вредности ефлуента, могу да се постигну кроз вишефазни или каскадни дизајн система	Ниске вредности ефлуента само са аеробним посттретманом
Истовремено уклањање N и P је могућ	Нема значајнијег уклањања P и N
Висока продукција вишка муља	Ниска продукција вишка муља
Опасност од зачепљења, када се користи носач материјала	Не постоји опасност од зачепљења
Високи трошкови одржавања за аерационе системе, третмане муља	Ниски трошкови одржавања
Могући проблеми са непријатним мирисом	Без проблема са мирисом због коришћења затворених танкова
НУСПРОДУКТИ	НУСПРОДУКТИ
Много вишка муља (све теже за одлагање у многим земљама)	Вредан биогаз (исплатива инвестиција)
ТРОШКОВИ	ТРОШКОВИ
Ниски до средњи трошкови инвестиција	Средњи до високи инвестициони трошкови
Високи трошкови за операције (аерација, уклањање N и P, уклањање муља)	Ниски трошкови за операције (ниска потрошња струје, мало или нема уклањања N и P, нема или врло мало уклањање муља)
Изводљиви мањи погони	Мањи погони неекономични
Велики захтеви што се тиче простора	Мали захтеви што се тиче простора

4.3.1. Аеробни процеси

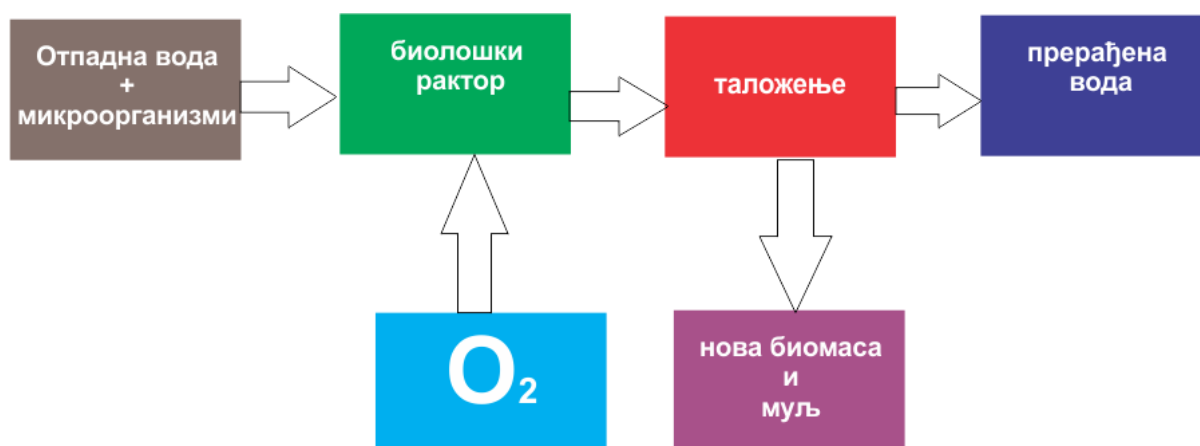
Аеробни процеси се примењују у обради отпадних вода са малом и средњом концентрацијом органског загађења, тј. у обради слабо и средње оптерећених отпадних вода.

Аеробно пречишћавање делимо на поступке:

- са суспендованом микрофлором и
- поступке са имобилисаним слојем, тј. микрофлором имобилисаном на погодном инертном носачу.

Аеробни поступци са суспендованом микрофлором

Поступци са суспендованом микрофлором су најраспрострањенији вид аеробног процеса пречишћавања, у првом реду за обраду великих количина слабо и средње оптерећених отпадних вода, као што је, на пример, комунална отпадна вода. [3]



Слика 4.3. Општа схема аеробне биолошке прераде отпадних вода

Аеробни поступци са суспендованом микрофлором се деле на:

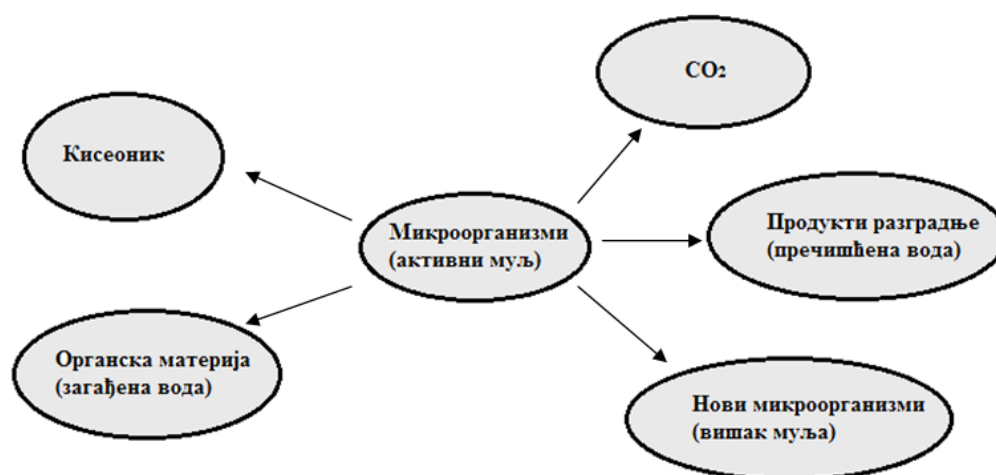
- поступке са активним муљем у биоаерационим базенима,
- поступке у аерисаним лагунама, и
- поступке у аеробним (плитким) језерима.

Биолошко пречишћавање отпадних вода са активним муљем

Активни муљ је назив за биолошки активну биомасу аеробне микрофлоре, суспендоване у отпадној води у облику флокула, при чему се у флокулама сем живих, активних, микроорганизама налазе и мртве ћелије као и органска (биоразградљива и бионеразградљива) и неорганска материја из отпадне воде која се пречишћава.

Пречишћавање активним муљем је један од најчешћих начина биолошког пречишћавања комуналних отпадних вода. Примењује се када је потребно одстранити растворену органску материју из воде. Главни део посла обављају микроорганизми који се хране органском материјом, уз вештачко додавање кисеоника, чиме се убрзавају процеси разградње и микроорганизмима обезбеђују довољне количине кисеоник.

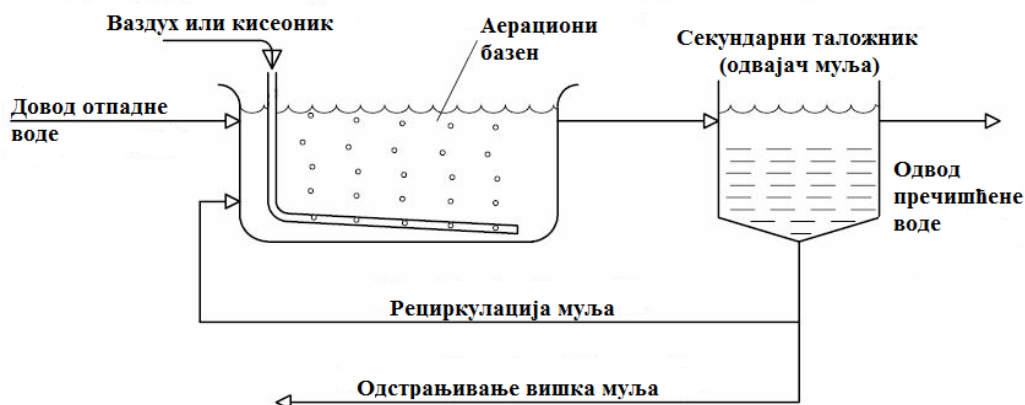
Осим што разлажу органску материју, микроорганизми је уграђују у сопствену биомасу која, заједно са продуктима метаболизма, формира муљ - получврсту материју која се може одвојити од пречишћене воде. На слици 4.4. приказан је принцип биолошког поступка са применом активног муља за обраду отпадних вода. [4]



Слика 4.4. Принцип биолошког поступка са применом активног муља за обраду отпадних вода

Технолошки процес укључује примарни третман отпадне воде. Отпадне воде се аеришу у биоаерационом базену стварајући услове погодне за интензивни процес биоразградње (редукција садржаја органских материја око 95%).

Након аерације, следи таложење где се одваја биомаса (микробиолошки муљ од ефлуента), како је приказано на слици 4.5. Део муља се води натраг у процес (активни муљ) где служи као активатор биолошког процеса. Остатак муља се одводи у уређај за обраду муља односно одлаже на одговарајући начин. Бистра пречишћена вода (ефлуент) се испушта у пријемник (реципијент), или по потреби води на додатну обраду (дезифекцију, филтрирање и сл.). Поступак се заснива на великој микробиолошкој густоћи уз интензивно мешање у суспензији с отпадном водом при аеробним условима. Органске материје могу бити трансформисане оксидацијом у крајње продукте оксидације као CO_2 , NO_3 , SO_4 и PO_4 или биосинтезом у биомасу. [2]



Слика 4.5. Шема поступка са активним муљем

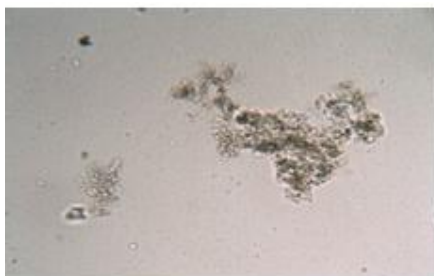
Анаеробном разградњом добијеног муља се (такође помоћу микроорганизама), у контролисаним условима, добија биогаз (метан) који се може користити као гориво, а запремина муља се знатно смањује и његови остаци депонују или користе као ђубриво.

Појам и карактеристике активног муља

Под активним муљем се подразумева пахуљичаста смеша биолошке масе (микроорганизми) и неразграђених органских и неорганских супстанци које потичу из отпадне воде. По изгледу је сличан пахуљицама гвожђетрихидроксида. Бактерије су у пахуљицама муља распоређење у више слојева и могу бити обавијене слузавим омотачем. Пахуље су различите по величини, зависно од формирања, а на њихову величину значајно утиче присуство кончастих бактерија. Структура пахуља је спужваста (сунђераста) због чега оне имају огромну површину. Пахуље муља имају негативно наелектрисање услед чега имају значајну апсорпциону моћ. Активни муљ има земљаст мирис који потиче од присуства Actinomiceta. [5]

Састав микрофлоре активног муља

Најважнији и најзаступљенији микроорганизми активног муља су бактерије. Хранећи се органском материјом из воде, у присуству кисеоника, бактерије разлажу органску материју на угљен-диоксид и воду и при том део органске материје уграђују у сопствену биомасу. [4]



Слика 4.6. Бактерије

Бактеријске ћелије би било тешко одвојити од пречишћене воде да немају једну врло важну особину - склоност да се удружују. Микроорганизми се удружују у флокуле - пахуљичасте структуре које се састоје од живих и мртвих ћелија микроорганизама и продуката њиховог метаболизма. Овакве структуре се таложе, и омогућавају да се у таложницима одвоји пречишћена вода од формираног муља. [4]

Важну улогу у пречишћавању активним муљем имају и друге врсте микроорганизама: гљиве, протозое, метозое и др.

Слободнопливајуће цилијате (трепљари) се хране појединачним бактеријским ћелијама и на тај начин доприносе да се вода "избистри". [4]



Слика 4.7. Слободнопливајуће цилијате

Пузеће цилијате "брсте" бактерије са површине флокула. На тај начин доприносе формирању постојаних флокула правилнијег облика које се боље таложе. [4]



Слика 4.8. Пузеће цилијате

Причвршћене цилијате филтрирају воду. Сесилни трепљари, који су "дршком" причвршћени за флокулу, хране се тако што радом трепљи усмеравају воду са честицама хране и филтрирају је. [4]



Слика 4.9. Причвршћене цилијате

У активном муљу живе и вишећелијске животиње. Врсте из филума *Rotifera* (Rotatoria), иначе честе у површинским водама и влажним стаништима, у активном муљу се јављају повремено и, као и остали становници активног муља, хранећи се доприносе стабилизацији флокула. [4]



Слика 4.10. *Rotifera* (Rotatoria)

Неки микроорганизми неповољно утичу на пречишћавање воде "заузимајући место" другим, "кориснијим" организмима.

Влакнасте (кончасте, филаментозне) бактерије, на пример, својим сплетом влакана могу да отежају пречишћавање. Конци који виरे из флокула ометају њихово таложење и доводе до испливавања флокула. Неке влакнасте бактерије, нарочито ако су разгранатог облика, могу да изазову стварање пене, што такође отежава таложење. [4]



Слика 4.11. Влакнасте бактерије

Хемијски састав муља

У састав активног муља, поред микроорганизма у лазе и различите органске и неорганске супстанце. У складу са тиме разликују се:

- биолошки и термички разградљиве (волатилне) супстанце муља које чини биомаса микроорганизма и неразграђене органске супстанце и
- неразградљиве (фиксне) супстанце муља.

Састав биомасе микроорганизма зависи од врсте отпадне воде у којој настаје. За санитарне отпадне воде састав се обично изражава бруто формулама $C_5H_7NO_2$ (према Хуверу и Поргесу), или $C_7H_{11}NO_3$.

У сувој маси муља органска супстанца чини 70-90% а неорганска 10-30%. [5]

Основни параметри процеса активног муља

Температура

У распону од 10 до 30⁰С не утиче битније на ток процеса. Иако је она битан фактор процеса, она се при пројектовању обично занемарује јер санитарне и комуналне воде имају уједначен процес. То није случај у индустријским отпадним водама за које је карактеристично термичко загађење о коме се мора водити рачуна и по потреби отпадна вода се мора хладити.

Концентрација водоничних јона (рН)

Оптимална област рН вредности за процес активног муља је 6-8, а толерише се и област 5-9. Ако рН падне испод 4,5 бактерије практично нестају.

Аерација и мешање

Аерацијом се постиже оптималан пренос кисеоника а истовремено и мешање па се на тај начин се убрзава процес биоразградње. Интензивно мешање иако побољшава пренос масе кисеоника, али може и проузроковати уситњавање пахуљица муља, што погоршава таложне карактеристике муља.

Формирање пахуљица муља

Један од предуслова успешног пречишћавања отпадне воде је да се након завршетка биолошког процеса из прерађене воде што потпуније уклоне ћелије микроорганизама и неразграђено загађење. Њихово издвајање је успешније уколико су те супстанце у облику муља. Велики број бактерија учесника у процесу има особину формирања капсула које се међусобно слепљују. Са повећањем броја слепљених јединки расте и спољна површина чиме се повећава успешност даљег спајања.

Механизам деловања процеса активног муља

У складу са саставом и физичко-хемијским карактеристикама пахуљице активног муља показују биохемијску (микробну), хемијску и физичко-хемијску активност. Оне се исказују:

- ендегеном биохемијском оксидацијом (минерализацијом) биоразградљивог органског загађења, која се догађа у ћелијама микроорганизама;
- егзогеном разградњом сложених органских супстанци на простије, која се догађа у ћелијском воденом простору под дејством излучених ензима;
- апсорпцијом сложених органских једињења у пахуљици муља и на њој, и
- хемијским реакцијама између продуката биолошке разградње. [5]

Карактеристике активног муља

Основне карактеристике активног муља су физичка структура и хемијски састав. По физичкој структури активни муљ је сличан пахуљицама фери-хидроксида и луминијумхидроксида, које се састоје од великог броја и више слојева бактерија. Структура пахуљица је спужваста, па им је површина велика, тј. за 1g суве материје износи 100 m². Муљ садржи око 80% воде. Активни муљ се састоји од микроорганизама и различитих органских и неорганских материја. Сува материја активног муља састоји се од комплекса минералних (10 до 30%) и органских компонената (70 до 90%).

Органске материје садрже највише беланчевина (70%), липида, угљених хидрата и др. Минерални део се углавном састоји од калцијума и фосфора. У процесу пречишћавања помоћу активног муља, мање или више интензивно делују различити фактори и то: температура, вредност рН, концентрација кисеоника, интензитет мешања активног муља и стварање пахуљица. [2]

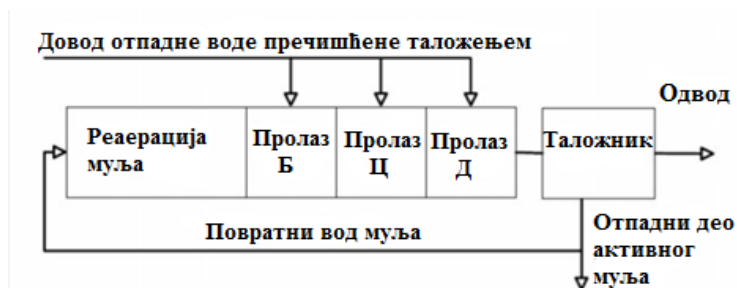
Врсте процеса са активним муљем

Врсте процеса активног муља могу бити:

1. према начину увођења отпадне воде:
 - са клипним струјањем или подужним током,
 - са потпуним мешањем,
2. према оптерећењу активног муља:
 - високооптерећени,
 - конвенционални,
 - нискооптерећени (продужена аерација),
3. према начину вођења тока отпадне воде и муља:
 - аерација и рецикулација,
 - контактна стабилизација,
 - степенаста аерација и рецикулација
4. према многострукости пречишћавања:
 - једноступени,
 - дво и вишеступени систем,
5. према начину аерације:
 - аерација са увођењем ваздуха,
 - механичка аерација,
 - комбинована аерација,

За почетни стадијум процеса потребна је највећа количина кисеоника, јер тада има највише органских компонената у средини, док се у наставку процеса потреба за кисеоником брзо смањује. Ово сазнање омогућило је да се изврши рационализација у потрошњи ваздуха и оствари боље искоришћење ваздуха. У овом систему активни муљ се поново враћа у аератор.

Повратни активни муљ се засићује кисеоником, а затим му се постепено додаје отпадна вода. На овај начин се додавањем отпадне воде остварује освежавање муља, равномернија расподела кисеоника и смањење запремина резервоара (потребних за одвијање процеса). [2]



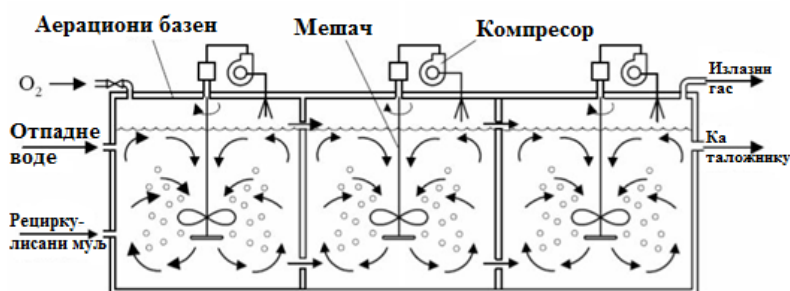
Слика 4.12. Систем аерације у више ступњева

Нови систем пречишћавања отпадних вода (уведен 1951. год.) назван је биосорпција, или контактна стабилизација. Отпаци се доводе у контакт са добро припремљеним активним муљем (у трајању од 30 минута) при интензивној аерацији у биосорпционом уређају. Формирани муљ се одваја у обичном резервоару - таложнику, после чега се врши активирање и обнављање муља.



Слика 4.13. Шема биосорпционог процеса прераде воде

У циљу даљег усавршавања процеса пречишћавања активним муљем, фирма "Union Carbide" (САД) развила је поступак "упох" у коме се уместо ваздуха користи технички кисеоник, који се са рециркулисаним активним муљем у отпадним водама уводи у затворени резервоар. Систем се примењује за прераду комуналних отпадних вода и отпадних вода из фармацеутске индустрије, из производње хартије, алкохола, млека. [2]



Слика 4.14. Вишеступени систем прераде отпадних вода применом техничког кисеоника

Биолошки процеси прераде отпадних вода у аеробним лагунама

Аерисане лагуне се могу сматрати као један од јевтинијих техничких поступака пречишћавања отпадних вода поступком активног муља. Оне одговарају систему са слабом оптерећењем масе муља, са продуженом аерацијом, и са или без рецикулације активног муља. Најчешће се користе за пречишћавање комуналних и биолошки високо оптерећених индустријских отпадних вода. Раде се за оптерећења од 1000 до 25 000 еквивалентних становника (ЕС).

Прво се мора извршити грубо механичко пречишћавање које се састоји од грубих решетки, таложница за песак и сепаратора масти (ако је потребно), након чега се отпадна вода упућује на биолошку обраду у аерисане и таложне лагуне.

Аерисане лагуне су базени, најчешће ископани у земљи, дубине око 4 метара, аерација отпадне воде врши се применом механичких аератора или системом за удување ваздуха (фини мехурићи) који је обешен о пливајуће ланце. Хидраулично задржавање отпадне воде је од 3 - 30 дана, најчешће 5 - 8 дана. Поред уношења довољне количине кисеоника, аерациони систем има задатак да одржава активни муљ у суспензији.

Лагуне могу бити:

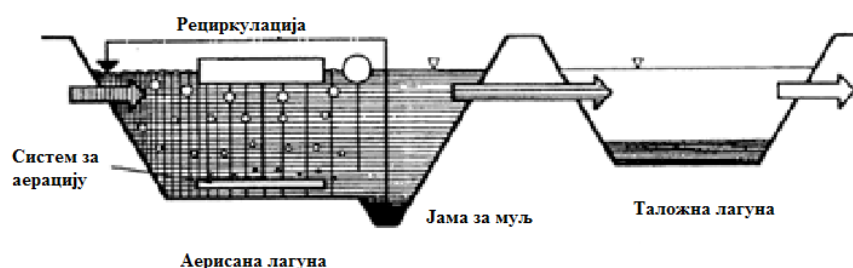
- аеробне (природна аерација),
- факултативне (аеробно анаеробне) и
- аериране.

Такође, лагуне могу бити са:

- континуираним испустом,
- контролисаним испустом или са
- задржавањем (без испуштања у површинске воде)

Рецикулација муља врши се помоћу мамут-пумпи које евакуишу муљ из левка на низводном крају, и шаљу га на узводни крај аерисане лагуне.

Након проласка кроз аерисану лагуну, отпадна вода улази у таложну лагуну, које су нешто плиће (дубина око 2 метара), и не располажу системом за аерацију отпадне воде. Таложне лагуне се такође најчешће изводе као базени ископани у земљи. Из таложне лагуне избистрена отпадна вода се испушта у реципијент. [6]



Слика 4.15. Аерисана лагуна са таложном лагуном и рецикулацијом муља

Муљ из таложних лагуна се вади једанпут годишње, или ређе тако што се лагуна испразни, муљ осуши и извади. Зато је потребно предвидети најмање две таложне лагуна.

Како би се спречио губитак воде из лагуна инфилтрацијом у подземље, исте треба градити у водоотпорном материјалу или је потребно извршити облагање дна и бокова лагуна непропусним фолијама. Ефекат пречишћавања аерисаних лагуна је око 95% у погледу смањења BPK_5 . [6]



Слика 4.16. Аерисана лагуна

Биолошки процеси прераде отпадних вода аеробним (плитким) језерима

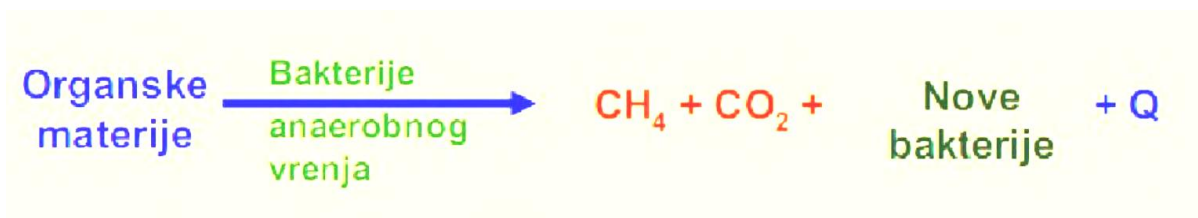
Аеробна језера су велики и плитки земљани базени у којима се пречишћавање отпадне воде одвија уз минималну регулацију, практично као процес природног самопречишћења. Неопходна количина кисеоника за биолошку оксидацију загађења отпадне воде се обезбеђује метаболизмом алги, а бактерије које разграђују загађење продукују материје за раст алги. Додатне количине кисеоника се обезбеђују дифузијом атмосферског кисеоника кроз површину воде. Не рачунајући алге остала микрофлора је у основи иста са микрофлором слабо оптерећених поступака са активним муљем. Време задржавања отпадне воде у аеробним језерима је дуго, обично не мање од 90 дана и лимитирано је количином кисеоника унетог из атмосфере и произведено фотосинтезом алги. [2]



Слика 4.17. Језеро

4.3.2. Анаеробни процеси

Анаеробни процес пречишћавања отпадних вода се развио из поступка анаеробне биолошке стабилизације муљева насталих током пречишћавања отпадних вода. Процес анаеробног пречишћавања заснован је на метанском врењу органског загађења отпадних вода.



Радни микроорганизми у процесима за анаеробну обраду су бактерије анаеробног врења које се деле, према коначном продукту деловања, на **бактерије киселинског врења** и **бактерије метанског врења**.

Основна заједничка карактеристика бактерија анаеробног врења јесте способност трансформисања материје и енергије у отсуству кисеоника. При томе су бактерије киселинског врења у односу према кисеонику факултативне, а бактерије метанског врења су стриктни анаероби. [3]

5. Истраживања у области примене активног муља у третману отпадних вода

Модерни уређаји за пречишћавање отпадних вода опремљени су инструментима који у реалном времену мере физичке и хемијске параметре воде у различитим фазама пречишћавања. Међутим, многе појаве у процесу биолошког пречишћавања није могуће објаснити само на основу познавања физичких и хемијских карактеристика воде у систему, јер је активни муљ живи систем у коме владају сложени еколошки односи, а последице промена у саставу улазне воде су видљиве тек након времена, делујући на читаве ланце исхране.

У оквиру овог поглавља биће приказана нека од истраживања рађена на постројењу за пречишћавање отпадних вода у Суботици.

Пречишћавање комуналних и индустријских отпадних вода на градском уређају за пречишћавање отпадних вода у Суботици се обаља механичким и биолошким путем. Биолошко пречишћавање се одвија у аерационим базенима, аеробном методом активног муља. Процес пречишћавања отпадне воде активним муљем је најчешћи начин пречишћавања отпадне воде загађене органском материјом, а заснива се на фундаменталном својству воде, процесу самопречишћавања.

Градски уређај за пречишћавање отпадних вода у Суботици континуирано ради од 1975. године. Механичко пречишћавање подразумева пролазак отпадне воде кроз систем решетки (грубе и fine), песколова, мастолова и предходног таложника. Биолошко секундарно пречишћавање се обаља у аерационим базенима и подразумева мешање отпадне воде, супстрата, са ензимима микроорганизама и кисеоником. Одвајање воде од муља се обавља у накнадним таложницима одакле се део муља враћа у аерационе базене као рециркуларни муљ, док се део избацује на депонију муља, као вишак муља. [7]

Активни муљ је творевина изграђена од великог броја бактерија, углавном аеробних, које својим екстрацелуларним ензимима разграђују органску материју из воде вршећи уједно и њено пречишћавање. Осим бактерија, екосистем активног муља чине Протозое и неке Метазое. Развој екосистема муља зависи од квалитета ифлуента, типа уређаја и од технологије управљања процесом пречишћавања. Од великог значаја за процес пречишћавања је да флокуле муља буду добрих особина, што подразумева одређена физичка својства флокула, величину, облик, чврстину, постојаност, као и квалитативан и квантитативан микробни састав. Добро развијена и здрава микрофауна активног муља је основни предуслов за успешно извођење процеса деградације, хидролизе, оксидације и редукције на којима се заснива отклањање органских отпадака

из воде, али и за што потпунију сепарацију воде од муља у накнадним таложницима. Од посебне важности представља развој популације кончастих бактерија у активном муљу обзиром да превелик раст ове посебне групе микроорганизама често узрокује пенушање, надувавање и отежано таложење муља у накнадним таложницима кварећи и умањујући ефекат пречишћавања. [8]

Квалитет биоактивног муља се на уређају свакодневно прати и процењује физичко хемијским и биолошким методама контроле, при чему биолошке методе подразумевају микроскопски преглед флокула муља и детерминацију присутних Протозоа, Метазоа и филаментозних бактерија.

Секундарно пречишћавање се претежно одвија под аеробним условима и зато је оптимална аерација један од значајних фактора за ефикасност овог поступка.

Аерациони базен је двокоморни објект ширине 20 m, дужине 40 m и дубине воде 3,2 m. У употреби су два оваква базена, укупне запремине 2560 m³.

Отпадна вода се улива у аерационе базене из претходног таложника, а такође се у базене улива и рециркуларни муљ на три извода.

Аерација у базенима се спроводи увођењем компримованог кисеоника на дно базена, односно дубински. Дакле мехурићи кисеоника са дна базена испливавају на површину и тако доводе и до потпуног мешања отпадне воде са муљем. Концентрација кисеоника у базенима се континуално прати фиксираном сондом WTW оксиметра на изливу воде из аерационих базена, док се повремено врши контрола концентрације кисеоника у базенима по дужини, односно од места улива отпадне воде, укључујући и места улива рециркуларног муља, до излива отпадне смеше, делимично пречишћене воде и муља. [7]

Континуално праћење концентрације раствореног кисеоника на фиксираном WTW оксиметру показује велика варирања. Наиме, и поред аутоматског управљања концентрацијом кисеоника, долази до великих одступања, вероватно услед прилива воде и муља различите органске оптерећености. Концентрације кисеоника се крећу од 0 до преко 8,0 mg/l у условима великих атмосферских падавина. На основу литературних података је прихваћено да оптимална концентрација раствореног кисеоника у аерационом базену износи између 2,0 и 2,5 mg/l O₂. Мерењем концентрације кисеоника преносним оксиметром по дужини базена су показала да је у базенима концентрација кисеоника испод 0,5 mg/l у око $\frac{3}{4}$ запремине базена. Дакле, највећом запремином базена владају готово анаеробни услови, док се недостатак кисеоника на фиксираном оксиметру очитава тек повремено. [10]

Микроскопска анализа активног муља се на уређају обаља свакодневно прегледом свежег муља са места супротно од улива ифлуента одмах након узорковања из базена.

Упркос сталном доводу кисеоника, у базенима владају услови недовољне аерисаности што погодује развоју само неких микроорганизама, посебно кончастим бактеријама које својим великим површинама могу да обезбеде довољно кисеоника за свој развој.

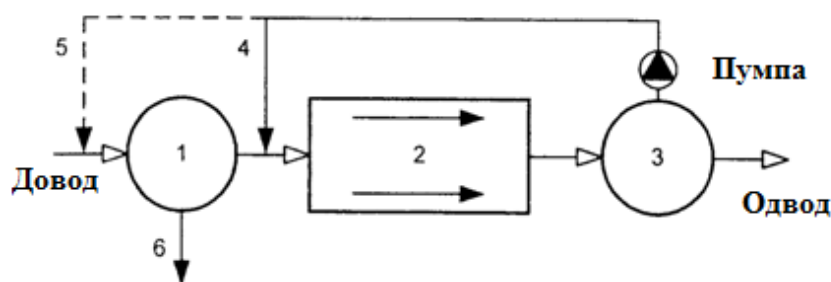
Микроскопски преглед муља поред слике тренутних услова нам показује и тенденцију, правац развоја муља. Биоактивни муљ је средина великих амортизационих могућности и веома дуго одолева различитим негативним утицајима. Квалитет ифлуента који се улива на градском уређају је веома променљив и одређен квалитетом отпадних вода индустрије, често садржећи крајње неповољне и токсичне материје за развој микросвета. Услед немогућности обезбеђивања идеалне средине у погледу састава отпадне воде, у руковођењу процесом пречишћавања се пажња треба посветити обезбеђивању уједначене концентрације раствореног кисеоника по целој запремини базена. Спречавањем настанка анаеробних услова би се вероватно у многоне променила слика биаоактивног муља и омогућио би се развој осетљивијим врстама које би имале и свој допринос у процесу пречишћавања. [11]

6. Објекти и уређаји биолошког пречишћавања отпадних вода

6.1. Објекти за биолошко пречишћавање отпадних вода

6.1.1. 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 хидрауличког 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*.



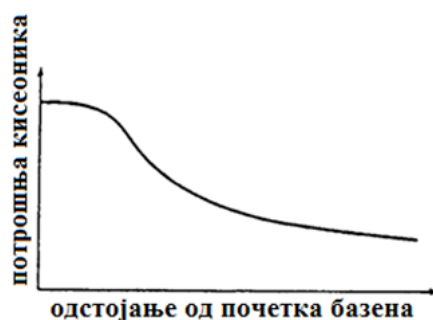
Слика 6.1. Конвенционално постројење са активним муњем

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 је приказан систем са убацивањем вишка муља у сирову воду на почетак процеса, где се његово уклањање врши у примарној таложници. Муљ подпомаже таложњење у претходној таложници због свог флокулантског дејства. [6]



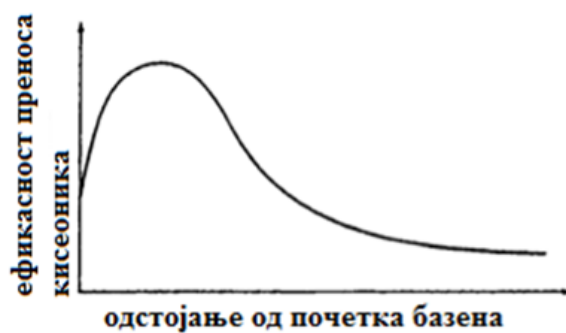
Слика 6.2. Конвенционални третман са активним муљем

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



Слика 6.3. Промена потребе за кисеоником дуж аерационог базена са клипним струјањем

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 6.4. Ефикасност преноса кисеоника дуж аерационог базена са клипним струјањем

6.1.2. Степенасто додавање кисеоника

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

6.1.3. 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]

6.1.4. 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.

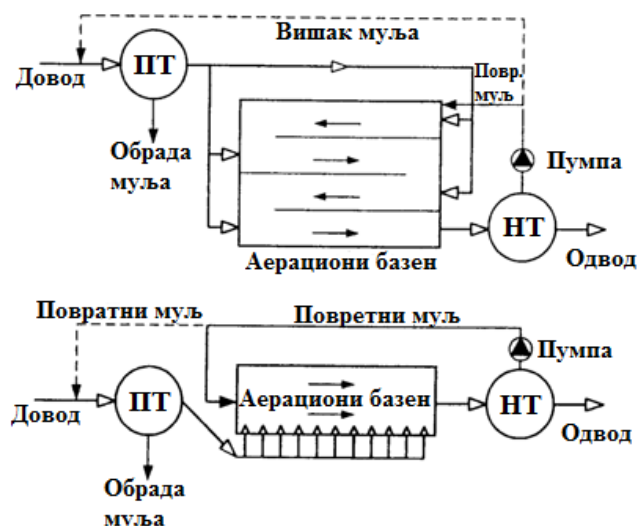
Овим поступком остварује се виши степен пречишћавања него код претходног поступка.

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

6.1.5. 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.

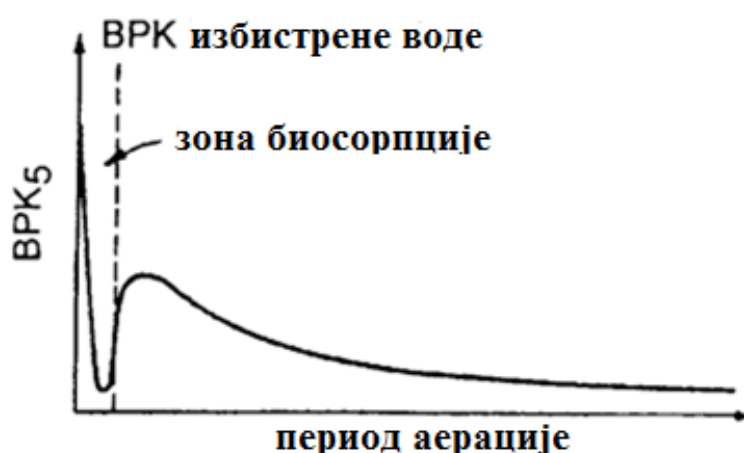
Целокупан повратни муљ улази на почетак базена за аерацију. У овом поступку оптерећење је распоређено на цео аерациони базен, а не само на његов почетак као што је случај у конвенционалном поступку. Стога у случајевима где постоје удари оптерећења отпадне воде овај поступак је погоднији од конвенционалног,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



Слика 6.5. Аерациони базен са клипним струјањем и степенастим додавањем отпадне воде-два решења диспозиција

6.1.6. Контактна стабилизација (био-сорпција)

У процесу са активним муљем постоје две фазе *слика 6.6*. 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 BPK_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 6.7*.



Слика 6.6. Примена BPK_5 у мешавини сирове отпадне воде и активног муља током периода аерације



Слика 6.7. Шема процеса контактне стабилизације

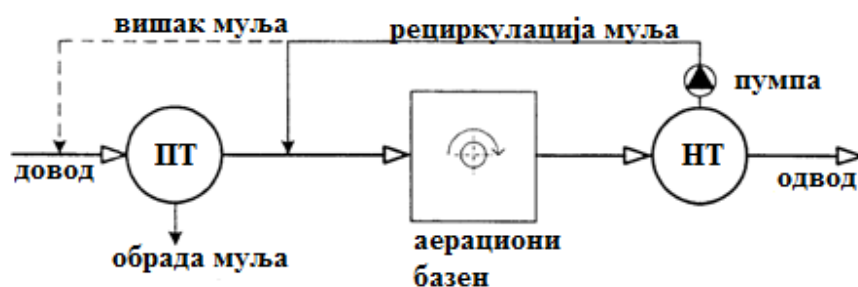
Сирова или претходна избистрена вода меша се са повратним муљем и одлази у аерисани базен за мешање и адсорпцију. Време задржавања воде у овом базену је од 30 до 60 минута. Затим одлази у накнадну таложницу. Пречишћена вода одлази у природни пријемник. Исталожени муљ одлази на регенерацију (време задржавања 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 цевовода постижу добри резултати без дограђивања објекта, а при повећаном биолошком оптерећењу. [6]

6.1.7. Постојења са потпуним мешањем

У свим до сада наведеним постројењима (осим високооптерећеног) струјање у аерационом базену је било клипно, што значи да све честице које уђу на једно место у базен за аерацију задржавају се у њему приближно исто време.

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]



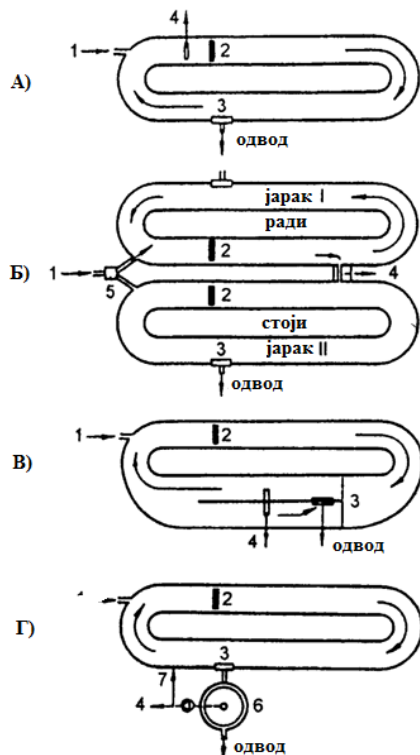
Слика 6.8. Процес са активним муљем у реактору са потпуним мешањем

6.1.8. Продужена аерација

Продужена аерација је процес са активним муљем који ради у опесегу ендогене 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]

6.1.9. 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 6.9. Различита решења оксидационог јарка

(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 јарк 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 6.9. 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 6.9. 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]

6.1.10. 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 6.10. Шема постројења карусел

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 поспешео овај процес може се у ову зону довести извесна количина сирове воде.

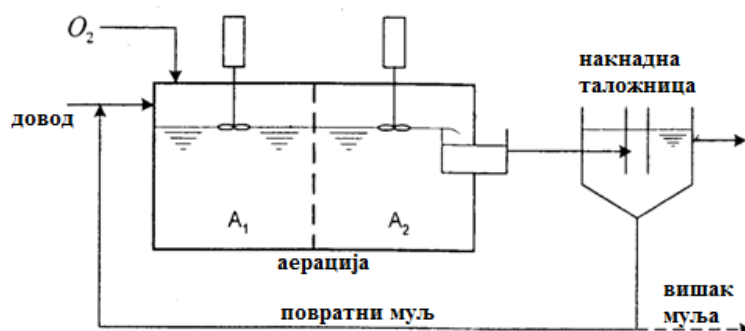
Аерисана отпадна вода која је прошла кроз објекат 20 до 100 пута, одлази у накнадну таложницу. Претходно таложење се не примењује. [6]

6.1.11. 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]

6.1.12. Постројења са чистим кисеоником

Ово је један од новијих поступака пречишћавања процесом активног муља, где се аерација отпадне воде врши чистим кисеоником. На слици 6.10 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 обогаћен 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 6.11. Шема постројења са чистим кисеоником

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 утрошка 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 таложи, 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.

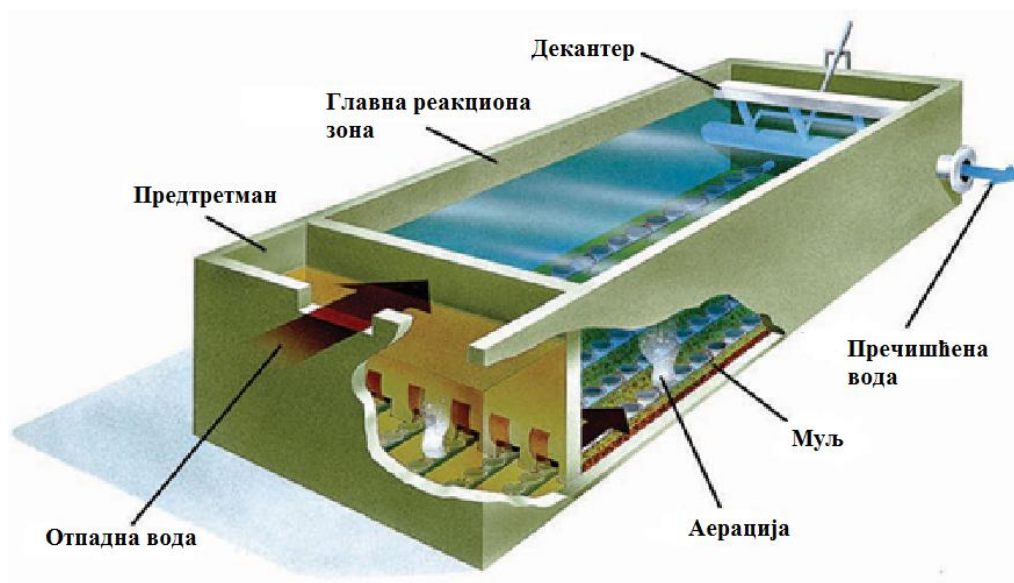
Објекти постројења са чистим кисеоником су мањих габарита од објеката конвенционалних постројења. Примена постројења са чистим кисеоником нарочито је повољна: (1) кад је ограничен простор за изградњу постројења за пречишћавање, (2) када су промене органског оптерећења велике, и (3) када се пречишћава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

6.2. Уређаји за биолошко пречишћавање отпадних вода

6.2.1. 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 6.12. Делови биоаерационог базена



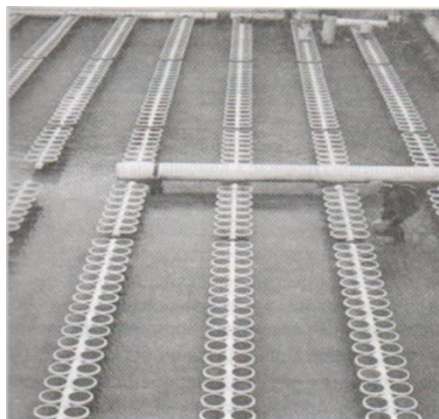
Слика 6.12. Аерациони базен у коме се гаји активни муљ

Аерација

У биолошким поступцима за пречишћавање отпадних вода, примењује се:

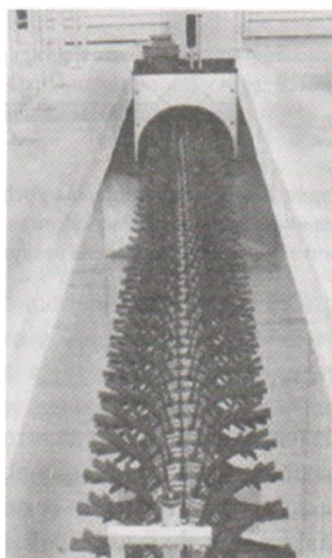
1. субмерзна (дубинска) аерација: дифузна и дифузно-турбинска
2. имерзна (површинска) аерација

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 6.13. Порозни дифузери за дубинску аерацију смештени на дну биореактора

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



Слика 6.14. Мамутротор за површинску аерацију

6.2.2. Секундарни таложник

Након аерација 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 6.15. Одвајање воде од муља у секундарном таложнику

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]

7. Прорачун конвенционалног постројења са активним муљем

У оквиру овог дела биће приказан прорачун основних параметара конвенционалног постројења са активним муљем са потпуним мешањем. У *табели 7.1* приказани су полазни подаци који ће се користити за даљи ток прорачуна.

Табела 7.1. Полазни подаци

Полазни подаци		
Број еквивалентних становника (ES)	75.000	
ВРК ₅ сирове отпадне воде	145	mg/l
Укупне суспендоване супстанце отпадне воде (TSS_{inf})	300	mg/l
Укупна сува супстанца инфлуента (TS_{inf})	503	mg/l
Укупна сува супстанца ефлуента (TS_{ef})	408	mg/l
ВРК ₅ ефлуента	20	mg/l
TSS ефлуента	24	mg/l
MLSS	1500	mg/l
Запремина отпадног муља	250	m ³ /l
SS у отпадном муљу	8900	mg/l
Температура воде	20	°C

Да би се извршило димензинисање запремине биореактора неопходно је одредити одређене параметре као што су:

1. Средњи проток отпадне воде (Q_{sr})

$$Q_{sr} = \frac{ES \cdot q_{sp}}{\tau}, [m^3/dan]$$

где је:

ES - еквивалентни број становника,

q_{sp} [l/st·dan] - специфична потрошња воде,

τ [h/dan] - редуковани број сати

Вредност специфичне потрошње воде q_{sp} , одређује се на основу броја становника из *Табеле 7.2*.

Табела 7.2. Вредност специфичне потрошње воде у односу на број становника

Број становника	Специфична потрошња воде q_{sp}
< 5000	150
5000 – 10000	180
10000 – 50000	220
50000 – 250000	250
>250000	300

$$q_{sp} = 250 \text{ l/st} \cdot \text{dan}$$

Редукован број сати τ , одређује се из табеле 7.3 на основу броја становника.

Табела 7.3. Одређивање редукованог броја сати према броју ES

Q_{sv}	τ	ES
$Q_{sv,10}$	10	до 1000
$Q_{sv,12}$	12	1000 – 5000
$Q_{sv,14}$	14	5000 – 10000
$Q_{sv,16}$	16	10000 – 20000
$Q_{sv,18}$	18	20000 – 100000

$$\tau = 18 \text{ h/dan}$$

$$Q_{sr} = \frac{ES \cdot q_{sr} \cdot 10^{-3}}{\tau} \cdot 24 = \frac{75000 \cdot 250 \cdot 10^{-3}}{18} \cdot 24 = 25000 \text{ m}^3/\text{dan}$$

2. Укупно органско оптерећење у току дана (с)

$$C = C_{specif} \cdot 10^{-3} \cdot ES \cdot [kg/dan]$$

где је:

C_{specif} [kg/st·dan] – специфично органско оптерећење.

$$C = C_{specif} \cdot 10^{-3} \cdot ES = 60 \cdot 10^{-3} \cdot 75000 = 4500 \text{ kg/dan}$$

3. Издвојено органско оптерећење (c_i)

Примарним таложењем (поступак пре аерације) врши се уклањање 25% органског оптерећења након чега остатак од 75% представља оптерећење које улази у поступак биолошке аерације са активним муљем:

$$c_i = \frac{c \cdot 25\%}{100\%}, [kg/dan]$$

где је:

C_i [kg/dan] – издвојено органско оптерећење у поступку примарног таложења.

$$c_i = \frac{c \cdot 25\%}{100\%} = \frac{4500 \cdot 25\%}{100\%} = 1125 \text{ kg/dan}$$

4. Органско оптерећење аерације (c_a)

$$c_a = c - c_i, [kg/dan]$$

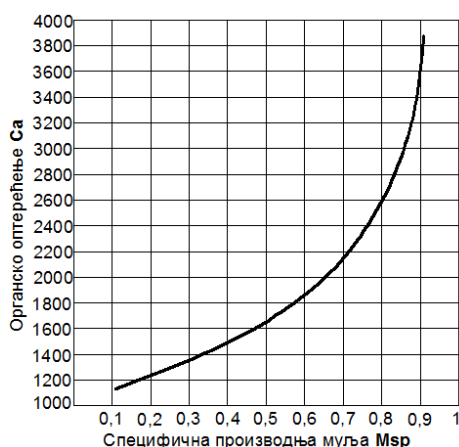
где је:

C_a [kg/dan] – органско оптерећење у аерационом базену.

$$c_a = c - c_i = 4500 - 1125 = 3375 \text{ kg/dan}$$

5. Специфична производња муља (M_{sp})

Специфична производња муља је параметар који се усваја на основу препорука и зависи од вредности органског оптерећења у базену за аерацију *слика 7.1*.



Слика 7.1 Одређивање специфичне производње муља

$$M_{sp} = 0,88 \text{ kgSM}$$

6. Оптерећење муљем (M_o)

Вредност оптерећења муљем креће се у распону од 2 до 5 kgSM/m^3 , па се препоручује оптимална вредност која износи $4 \text{ kgSM}/\text{m}^3$.

$$M_o = 4 \text{ kgSM}/\text{m}^3$$

где је:

SM – сува материја.

7. Производња муља (M_p)

$$M_p = c_a \cdot M_{sp}, [\text{kgSM}/\text{dan}]$$

$$M_p = c_a \cdot M_{sp} = 3375 \cdot 0.88 = 2970 \text{ kgSM}/\text{dan}$$

7.1. Димензионисање базена за аерацију

➤ Запремина базена (V_b)

$$V_b = \frac{c_a}{M_o \cdot \mu}, [\text{m}^3]$$

где је:

$\mu = 0,1$ – коефицијент органског оптерећења

$$V_b = \frac{c_a}{M_o \cdot \mu} = \frac{3375}{4 \cdot 0,1} = 8437,5 \text{ m}^3$$

➤ Запремина једне линије базена (V_L)

$$V_L = \frac{V_b}{n}, [\text{m}^3]$$

где је:

n - број линија базена и усваја се након израчунате запремине **$n = 4$**

$$V_L = \frac{V_b}{n} = \frac{8437,5}{4} = 1054,69 \text{ m}^3$$

➤ **Ширина једне линије базена (B)**

$$B = H \cdot 2, [m]$$

где је:

H [m] - дубина базена за аерацију, усваја се након израчунате запремине једне линије базена.

$$H = 4$$

$$B = H \cdot 2 = 4 \cdot 2 = 8 \text{ m}$$

➤ **Дужина базена за аерацију (L)**

$$L = \frac{V_L}{H \cdot B}, [m]$$

$$L = \frac{V_L}{H \cdot B} = \frac{1054,69}{4 \cdot 8} = 32,96 \text{ m}$$

7.2. Димензионисање секундарног таложника

➤ **Израчунавање укупне запремине таложења (V_{ut})**

$$V_{ut} = \frac{Q_{sr}}{24} \cdot t_z, [m^3]$$

где је:

t_z [h]- време задржавања воде (усвојена вредност, најчешће износи 4h)

$$V_{ut} = \frac{Q_{sr}}{24} \cdot t_z = \frac{25000}{24} \cdot 4 = 4166,67 \text{ m}^3$$

➤ **Израчунавање запремине секундарног таложника (V_t)**

$$V_t = \frac{V_{ut}}{a}, [m^3]$$

где је:

a - број таложника (предпостављена величина)

$$V_t = \frac{V_{ut}}{a} = \frac{4166,67}{2} = 2083,34 \text{ m}^3$$

Одређивање дубине таложника

➤ Одређивање зоне одвајања (h_2)

$$h_2 = \frac{h_1 \cdot HO \cdot (1 + OPM)}{1 - (W \cdot M_o)}, [m]$$

где је:

$h_1[m]$ – зона бистрења (константна вредност 0,5)

$HO [m^3/m^2h]$ - хидрауличко оптерећење,

OPM - однос повратног муља (вредност која се изражава као $1=100\%=Q_{sr}$ –у прорачун улази као 1)

$w [l/kgSM]$ - индекс муља (креће се у границама од 80 до 150).

Да би се одредила зона одвајања потребно је претходно одредити хидрауличко оптерећење:

где је:

$\lambda [l/m^2h]$ - оптерећење чврстим честицама (креће се у границама од 300 до 450).

$$HO = \frac{\lambda}{w \cdot M_o} = \frac{400}{110 \cdot 4} = 0,91 \text{ } m^3/m^2 h \quad HO = \frac{\lambda}{w \cdot M_o}, [m^3/m^2h]$$

Препорука за хидрауличко оптерећење је у опсегу од 0,8 до $1,4 m^3/m^2h$

$$h_2 = \frac{h_1 \cdot HO \cdot (1 + OPM)}{1 - \frac{(W \cdot M_o)}{1000}} = \frac{0,5 \cdot 0,91 \cdot (1+1)}{1 - \frac{(110 \cdot 4)}{1000}} = 1,63 \text{ } m$$

➤ Одређивање зоне сакупљања (h_3)

$$h_3 = \frac{0,54 \cdot \lambda \cdot (1 + OPM)}{500}, [m]$$

$$h_3 = \frac{0,54 \cdot \lambda \cdot (1 + OPM)}{500} = \frac{0,54 \cdot 400 \cdot (1+1)}{500} = 0,86 \text{ } m$$

➤ **Одређивање зоне завршног одвајања (h_4)**

$$h_4 = \frac{\lambda \cdot (1 + OPM) \cdot t_{dt}}{300 \cdot t_{dt} + 500}, [m]$$

где је:

t_{dt} – време згушњавања на дну таложника (узима се константно време од 1,2h).

$$h_4 = \frac{\lambda \cdot (1 + OPM) \cdot t_{dt}}{300 \cdot t_{dt} + 500} = \frac{400 \cdot (1+1) \cdot 1,2}{300 \cdot 1,2 + 500} = 1,12 \text{ m}$$

➤ **Одређивање минималне дубине таложника (h)**

$$h = h_1 + h_2 + h_3 + h_4, [m]$$

➤ **Одређивање површине таложника (A)**

$$A = \frac{V_t}{h}, [m^2]$$

$$A = \frac{V_t}{h} = \frac{2083,34}{4,11} = 506,9 \text{ m}^2$$

➤ **Одређивање пречника таложника (D)**

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}}, [m]$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 506,9}{3,14}} = 25,41 \text{ m}$$

7.3. Основни параметри који се користе при прорачуну конвенционалног постројења са активним муљем

➤ Израчунавање запреминског ВРК₅ оптерећења

ВРК₅ оптерећење или дневна маса ВРК₅ се може израчунати на основу концентрације ВРК₅ у инфлуенту и протока отпадне воде.

$$ВРК_5 = \frac{Q_{sr} \cdot c_{inf}}{V_b} \cdot [kg/(m^3 \cdot d)]$$

где је:

c_{inf} [g/m³]- концентрација ВРК₅ у influentu

$$c_{inf} = 145 \text{ mg/l} = 145 \text{ g/m}^3$$

$$ВРК_5 = \frac{Q_{sr} \cdot c_{inf}}{V_b} = \frac{25000 \cdot 0,145}{8437,5} = 0,43 \text{ kg/(m}^3 \cdot \text{dan)}$$

ВРК₅ оптерећење је у области између 0,25 до $kg/(m^3 \cdot dan)$ 0,5 (Табела 7.4.).

Табела 7.4. Параметри дозвољених оптерећења аерационог базена за различите поступке активног муља [12]

Процес	НРК, $kg/(kg \text{ муља } d)$	ВРК $kg/(kg \text{ муља } d)$	MLSS, mg/l	Време задржавања, h
Конвенционални активни муљ	0,5 - 1	0.25 – 0.5	1000 - 3000	4 - 8
Високооптерећени	1	≥ 0.5	1000 - 3000	1 - 3
Нискооптерећени (продужена аерација)	$\leq 0,2 \text{ kg}$	0.05-0.1	3000 - 5000	20 – 30

➤ Израчунавање односа F/M

$$F/M = \frac{Q_{sr} \cdot c_{inf}}{V_b \cdot MLVSS} \cdot [ВРК/(kg \text{ MLVSS} \cdot d)]$$

где је:

MLVSS [kg]- волатилна суспендована супстанца активног муља у биоаерационом базену и креће се између 0,75 и 0,85 вредности MLSS.

MLSS се креће у границама од 1000 до 3000 (mg/l) за конвенционални активни муљ (Табела 7.4.).

Усваја се:

$$MLVSS = 0,8 \cdot MLSS = 0,8 \cdot 1500 = 1200 \text{ mg/l}$$

$$F/M = \frac{Q_{sr} \cdot c_{inf}}{V_b \cdot MLVSS} = \frac{25000 \cdot 145}{8437,5 \cdot 1200} = 0,35 \text{ BPK/(kg MLVSS} \cdot d)$$

Однос F/M се креће у опсегу од $0,2 < F/M < 0,4$ за конвенционални поступак активног муља.

➤ Израчунавање аерационог времена тј. хидрауличног времена задржавања (θ)

$$\theta = \frac{V_b}{Q_{sr}} \cdot [h]$$

$$\theta = \frac{V_b}{Q_{sr}} = \frac{8437,5}{25000} = 0,33 \text{ d} = 8 \text{ h}$$

Хидраулично време задржавања се креће у опсегу од 4h до 8h за конвенционални поступак активног муља.

➤ Израчунавање времена задржавања ћелија (θ_c)

$$\theta_c = \frac{SS_b}{SS_w + SS_e} \cdot [dan]$$

где је:

- **SS_b** [kg/d]- суспендована супстанца у биоаерационом базену.

$$SS_b = Q_{sr} \cdot MLSS \cdot [kg/d]$$

$$SS_b = Q_{sr} \cdot MLSS = 25000 \cdot 1,5 = 37500 \text{ kg/d}$$

- SS_w [kg/d]- суспендована супстанца у отпадном муљу.

$$SS_w = V_{om} \cdot SS \text{ у отпадном муљу [kg/d]}$$

$$SS_w = V_{om} \cdot SS \text{ у отпадном муљу} = 250 \cdot 8,9 = 2225 \text{ kg/d}$$

где је:

V_{om} [m³/l]- запремина отпадног муља,

SS у отпадном муљу [mg/l]- суспендована супстанца у отпадном муљу.

- SS_e [kg/d]- суспендована супстанца у ефлуенту.

$$SS_e = Q_{sr} \cdot TSS_{ef} \text{ [kg/d]}$$

$$SS_e = Q_{sr} \cdot TSS_{ef} = 25000 \cdot 0,024 = 600 \text{ kg/d}$$

TSS_{ef} [mg/l]- укупна суспендована супстанца ефлуента.

$$\theta_c = \frac{SS_b}{SS_w + SS_e} = \frac{37500}{2225 + 600} = 13,27 \text{ dana} \approx 13 \text{ dana}$$

➤ Израчунавање ефикасности уклањања параметара загађења (E)

$$E_{BPK_i} = \frac{(c_{inf} - c_{ef}) \cdot 100\%}{c_{inf}}, [\%]$$

$$E_{BPK_i} = \frac{(c_{inf} - c_{ef}) \cdot 100\%}{c_{inf}} = \frac{(145 - 20) \cdot 100\%}{145} = 86\%$$

$$E_{TSS} = \frac{(TSS_{inf} - TSS_{ef})}{TSS_{inf}}, [\%]$$

$$E_{TSS} = \frac{(TSS_{inf} - TSS_{ef})}{TSS_{inf}} = \frac{(300 - 24) \cdot 100\%}{300} = 92\%$$

➤ Израчунавање улазног оптерећења BPK₅ и TSS

$$BPK_{5ulazno} = c_{inf} \cdot Q_{sr} = 0,145 \cdot 25000 = 3625 \text{ kg/d}$$

$$TSS_{ulazno} = TSS_{inf} \cdot Q_{sr} = 0,3 \cdot 25000 = 7500 \text{ kg/d}$$

➤ Израчунавање карактеристика примарног муља

У оквиру прорачуна карактеристика примарног муља треба претпоставити следеће::

- Уклањање BPK₅ и укупне суспендоване супстанце, TSS у примарном таложнику је 35% и 68% респективно.
- Специфична густина примарног муља је $\rho=1,05$ и садржај укупне суве супстанце, TS=4,4%.
- Потрошња кисеоника је 1,42 mg/mg оксидисаних ћелија.
- 63% суспендованих супстанци ефлуента је биодеградабилно.
- TSS у рециркулисаном активном муљу RAS- 9500 mg/l
- Сигурносни фактор $S_f=2$ користи при одређивању запремина протока ваздуха.

$$BPK_{5uklonjeno} = BPK_5 \cdot 35\% = 3625 \cdot 0,35 = 1268,75 \text{ kg/d}$$

$$TSS_{uklonjeno} = TSS \cdot 68\% = 7500 \cdot 0,68 = 5100 \text{ kg/d}$$

Проток муља (Q_s) је:

$$Q_s = \frac{TSS_{uklonjeno}}{\rho} + c_{ss}, [m^3/d]$$

где је:

c_{ss} - концентрација суве супstance $c_{ss} = 4,4\% = 0,044 \text{ kg/kg}$

$$Q_s = \frac{TSS_{uklonjeno}}{\rho} + c_{ss} = \frac{5100}{1,05 \cdot 1000 \text{ kg/m}^3} + 0,044 = 110 \text{ m}^3/d$$

➤ Израчунавање протока BPK₅ и TSS оптерећења у примарном ефлуенту (секундарном инфлуенту)

Задати проток, $Q_e = Q_{sr} - Q_s [m^3/d]$

$$Q_e = Q_{sr} - Q_s = 25000 - 110 = 24890 \text{ m}^3/d$$

$$BPK_5 = BPK_{5ulazno} - BPK_{5uklonjeno} [kg/d]$$

$$BPK_5 = BPK_{5ulazno} - BPK_{5uklonjeno} = 3625 - 1268,75 = 2356,25 \text{ kg/d}$$

$$BPK_5 = \frac{2356,25 \cdot 1000}{24890} = 94,67 \text{ g/m}^3 = 94,67 \text{ mg/l} = S_0$$

$$TSS = TSS_{ulazno} - TSS_{uklonjeno} [kg/d]$$

$$TSS = TSS_{ulazno} - TSS_{uklonjeno} = 7500 - 5100 = 2400 \text{ kg/d}$$

$$TSS = \frac{2400 \cdot 1000}{24890} = 96,42 \text{ g/m}^3 = 96,42 \text{ ml/l}$$

➤ Процена растворене количине BPK₅, (S) у ефлуенту

$$BPK_{5u\text{ ef}} = \text{rastvoren } BPK_5 \text{ inf, } S + BPK_5 \text{ SS ef} [mg/l]$$

- Утврђивање BPK₅ суспендованих супстанци ефлуента (BPK₅ SSef), предпостављајући да је 63% суспендованих супстанци ефлуента биодеградабилно:

$$BSE = TSS \text{ efluente} \cdot 63\%, [mg/l]$$

$$BSE = TSS \text{ efluente} \cdot 63\% = 24 \cdot 0,63 = 15,1 \text{ mg/l}$$

$$BPK_u = BSE \cdot P_O, [mg/l]$$

$$BPK_u = BSE \cdot P_O = 15,1 \cdot 1,42 = 21,44 \text{ mg/l}$$

$$BPK_5 \text{ SSef} = 0,67 \cdot BPK_u, [mg/l]$$

$$BPK_5 \text{ SSef} = 0,67 \cdot BPK_u = 0,67 \cdot 21,44 = 14,36 \text{ mg/l}$$

- Растворени BPK₅ influente који излази из система обраде

$$BPK_{5ef} = S + BPK_5 \text{ SSef}, [mg/l]$$



$$S = BPK_{5ef} - BPK_5 \text{ SSef}, [mg/l]$$

$$S = BPK_{5ef} - BPK_5 \text{ SSef} = 20 - 14,36 = 5,64$$

➤ **Израчунавање протока муља који се избацује тј. протока отпадног муља (Q_{om})**

$$\theta_c = \frac{VX}{Q_{om}X + Q_e X_e}$$

где је:

X – концентрација микроорганизама у биореактору

$$X = MLVSS = 0,8 \cdot MLSS = 0,8 \cdot 1500 = 1200 \text{ mg/l}$$

$$\theta_c = \frac{VX}{Q_{om}X + Q_e X_e}$$

$$13 = \frac{8437,5 \cdot 1200}{Q_{om} \cdot 1200 + 24890 \cdot 24 \cdot 0,8}$$



$$Q_{om} = 618 \text{ m}^3/d$$

➤ **Израчунавање количине муља која се избацује дневно**

- **Израчунавање реалног приноса у систему (Y_r)**

$$Y_r = \frac{Y}{1 + K_d \cdot \theta_c}$$

где је:

K_d [1/d] – коефицијент ендogene разградње креће се у опсегу од 0,025 до 0,075 (Табела 7.5.)

Y [mg VSS/mg BPK₅] – максимални коефицијент приноса у току одређеног периода log раста, креће се у опсегу од 0,4 до 0,8. (Табела 7.5.)

Табела 7.5 Вредности карактеристичних коефицијената процеса активног муља за комуналне отпадне воде [12]

Коефицијент	Област вредности	Типична вредност
k, l/d	11 - 20	5
K _d , l/d	0.025 – 0.075	0.06
K _s , mg/l (BPK)	25 - 100	60
mg/l (HPK)	15 - 70	40
Y, mg VSS/mg BPK ₅	0.4 - 0.8	0.6

$$Y_r = \frac{Y}{1 + K_d \cdot \theta_c} = \frac{0,6}{1 + 0,06 \cdot 13} = 0,34 \text{ mgVSS/mgBPK}_5$$

- Израчунавање повећања масе испарљивих суспендованих супстанци активног муља (P_x)

$$P_x = \frac{Y_r \cdot Q (S_o - S)}{1000 \text{ g/kg}} \text{ kg/d}$$

$$P_x = \frac{Y_r \cdot Q_e (S_o - S)}{1000 \text{ g/kg}} = 0,34 \cdot 24890 \cdot (94,67 - 5,64) \cdot 0,001 = 753,43 \text{ kg/d}$$

- Израчунавање повећања масе суспендованих супстанци активног муља (P_{ss})

$$P_{ss} = \frac{P_x}{0,8} \text{ kg/d}$$

$$P_{ss} = \frac{P_x}{0,8} = \frac{753,43}{0,8} = 941,79 \text{ kg/d}$$

- Израчунавање губитка укупних суспендованих супстанци, TSS у ефлуенту (P_e)

$$P_e = \frac{(Q_e - Q_{om}) \cdot TSS_e}{1000 \text{ g/kg}} \text{ kg/d}$$

$$P_e = \frac{(Q_e - Q_{om}) \cdot TSS_e}{1000 \text{ g/kg}} = \frac{(24890 - 618) \cdot 24}{1000 \text{ g/kg}} = 582,53 \text{ kg/d}$$

- Израчунавање количине муља коју је потребно избацити (Q_w)

$$Q_w = P_{ss} - P_e \text{ kg/d}$$

$$Q_w = P_{ss} - P_e = 941,79 - 582,53 = 359,26 \text{ kg/d}$$

➤ Израчунавање протока рециркулисаног муља (Q_r)

Проток рециркулисаног муља се изражава на основу масеног биланса испарљивих суспендованих супстанци (VSS), Q и Q_r тј. протока инфлуента и рециркулисаног тока респективно:

$$MLVSS(Q + Q_r) = VSS_r \cdot Q_r$$

где је:

VSS_r [mg/l] – концентрација VSS у рециркулисаном активном муљу (RAS)

$$VSS_r = RAS \cdot 0,8 = 9500 \cdot 0,8 = 7600 \text{ mg/l}$$

$$MLVSS(Q_e + Q_r) = VSS_r \cdot Q_r$$

$$MLVSS \cdot (Q_e + Q_r) = VSS_r \cdot Q_r$$

$$1200 \cdot (Q_e + Q_r) = 7600 \cdot Q_r$$

$$Q_e = \frac{7600Q_r - 1200Q_r}{1200}$$

$$Q_r/Q_e = 0,19$$

$$Q_r = (Q_r/Q_e) \cdot Q_e = 0,19 \cdot 24890 = 4729,1 \text{ m}^3/\text{d} = 0,055 \text{ m}^3/\text{s}$$

➤ Израчунавање запреминског органског оптерећења ($BPK_{5\text{-zap}}$) и масе ултиматног BPK_u

$$BPK_{5\text{-zap}} = \frac{Q_e \cdot S_0}{V}, \text{ [kgBPK}_5/\text{m}^3\text{d]}$$

$$BPK_{5\text{-zap}} = \frac{Q_e \cdot S_0}{V} = \frac{24890 \cdot 94,67}{8437,5 \cdot 1000 \text{ g/kg}} = 0,27 \text{ kgBPK}_5/\text{m}^3 \cdot \text{d}$$

$$BPK_5 = 0,67 \cdot BPK_u \text{ (дато)}$$

$$BPK_5 = \frac{Q_e \cdot (S_0 - S)}{0,67}, \text{ [kg/d]}$$

$$BPK_{mu} = \frac{Q_e \cdot (S_0 - S)}{0,67} = \frac{24890 \cdot (94,67 - 5,64)}{0,67 \cdot 1000 \text{ g/kg}} = 3307,4 \text{ kg/d}$$

➤ Израчунавање теоријске потребе за кисеоником (O_2)

$$O_2 = BPK_{mu} - 1,42 P_x, [kg/d]$$

$$O_2 = BPK_{mu} - 1,42 P_x = 3307,4 - 1,42 \cdot 753,43 = 2237,53 \text{ kg/d}$$

➤ Израчунавање запремине потребног ваздуха (Q_{Tvaz})

Уз претпоставку да ваздух има густину $1,02 \text{ kg/m}^3$ и садржи 23,2% тежинских кисеоника и да је ефикасност преноса кисеоника за аерациону опрему је 8%; користи се сигурносни фактор $Sf=2$ приликом одређивања потреба за ваздухом.

- Укупна теоријска количина ваздуха (Q_{Tvaz}):

$$Q_{Tvaz} = \frac{O_2}{1,02 \cdot 0,232}, [m^3/d]$$

$$Q_{Tvaz} = \frac{O_2}{1,02 \cdot 0,232} = \frac{2237,53}{1,02 \cdot 0,232} = 8019,82 \text{ m}^3/d$$

- Актуелна количина ваздуха потребна при ефикасности преноса кисеоника од 8% (Q_{Avaz}):

$$Q_{Avaz} = \frac{Q_{Tvaz}}{0,08}, [m^3/min]$$

$$Q_{Avaz} = \frac{Q_{Tvaz}}{0,08} = \frac{8019,82}{0,08} = 100247,75 \text{ m}^3/d = 70 \text{ m}^3/d$$

- Укупна потреба за ваздухом (са фактором сигурности $Sf=2$):

$$Q_{vaz} = Q_{Avaz} \cdot Sf, [m^3/min]$$

$$Q_{vaz} = Q_{Avaz} \cdot Sf = 70 \cdot 2 = 140 \text{ m}^3/min$$

- **Израчунавање запремине ваздуха потребне по јединици уклоњеног ВРК₅ и по јединици запремине отпадне воде у аерационом базену**

- Потребна количина ваздуха по kg уклоњеног Q_{vazBPK} ВРК₅ ():

$$Q_{vazBPK} = \frac{Q_{Avaz} \cdot 1000 \text{ g/kg}}{Q_e \cdot (S_0 - S)}, [m^3 \text{ vazduha/kgBPK}_5]$$

$$Q_{vazBPK} = \frac{Q_{Avaz} \cdot 1000 \text{ g/kg}}{Q_e \cdot (S_0 - S)} = \frac{100247,75 \cdot 1000}{24890 \cdot (94,67 - 5,64)} = 45,24 m^3 \text{ vazduha/kgBPK}_5$$

- Потрошња ваздуха по m³ обрађене отпадне воде (Q_{Pvaz}):

$$Q_{Pvaz} = \frac{Q_{Avaz}}{Q_e}, [m^3 \text{ vazduha/m}^3 \text{ otpadne vode}]$$

$$Q_{Pvaz} = \frac{Q_{Avaz}}{Q_e} = \frac{100247,75}{24890} = 4 m^3 \text{ vazduha/m}^3 \text{ otpadne vode}$$

- Потребна количина ваздуха по m³ аерационог базена (Q_{vazAB}):

$$Q_{vazAB} = \frac{Q_{Avaz}}{V_\delta}, [m^3 / (m^3 \cdot d)]$$

$$Q_{vazAB} = \frac{Q_{Avaz}}{V_\delta} = \frac{100247,75}{8437,5} = 11,88 m^3 / (m^3 \cdot d)$$

8. Закључак

Пораст броја становника на Земљи и динамичан развој индустрије условљавају стални раст потрошње воде, чије су количине на планети ограничене. Вода се у индустрији појављује као сировина, као носилац енергије, као транспортно средство, као растварач, као међупроизвод, али скоро увек као систем за елиминисање отпадних материја. Пре испуштања у систем градске канализације, велики број индустријских објеката мора поседовати постројење за предtretман својих отпадних вода, јер су те воде комплексни загађивачи околне средине. Постојења за пречишћавање ових врста вода врше комплексан третман пре испуштања у природне рецепцијенте. Не препоручује се да се отпадне воде индустрије обрађују заједно са комуналним отпадним водама, како са техничко-технолошког становишта, тако и из економских разлога. Један од разлога је и тај што постоји велики број различитих органских и минералних једињења у индустријским водама, која захтевају посебан третман за обраду, који се не врши у третману градских отпадних вода.

Процес активног муља данас представља најраспрострањенији биолошки поступак за пречишћавање отпадних вода. Код овог поступка колоидне и растворене органске материје се помоћу микроорганизама преводе у облик мање или више стабилизованог муља. Биолошко пречишћавање се одвија у реактору где се у отпадну воду аераторима стално уноси одрђена количина кисеоника чиме се одржавају аеробни услови у отпадној води и муљ одржава у суспензији.

Савремени поступци активног муља се могу применити и за уклањање азотних материја из отпадне воде.

Једини проблем код биолошког процеса пречишћавања представља издвојени муљ, јер се састоји од супстанци које дају сировим отпадним водама лош квалитет (суспендоване органске и неорганске материје, супстанце које дају непријатне мирисе, бактерије и сл.). Органске материје које се налазе у сировом муљу, подложне су труљењу. У случају спонтаног и неконтролисаног труљења у природи, дошло би до развијања непожељних гасова, као што су метан, сумпор – водоник, амонијак и др.

9. Литература:

- [1] <http://www.balby.com/Balby%20-%20Postrojenja%20za%20tretman%20otpadnih%20voda.pdf>
(приступљено сајту ... 15.05.2013.)
- [2] Vanja Šušteršič; Tehnologije i postrojenja za tretman otpadnih voda – skripta, Mašinski fakultet; Kragujevac; 2008.
- [3] http://www.vts-zr.edu.rs/legacy/images/stories/Predmeti/ekologija/ekologija_bioloski_procesi_28032011.pdf
(приступљено сајту ... 15.05.2013.)
- [4] <http://www.riparia.org.rs/aqua/aktivni-mulj.htm>
(приступљено сајту ... 15.05.2013.)
- [5] Mark Hamer, Mark Hamer Jr: Water and Wastewater Technology, Pearson, Prentice Hall, 2004.
- [6] Дејан Љубисављевић, Александар Ђукић, Бранислав Бабић: Пречишћавање отпадних вода, Грађевински факултет, Београд, 2004.
- [7] Burger, B. (2006): Микробиолошка карактеризација активног муља уређаја за пречишћавање отпадних вода у Суботици. Отпадне воде, комунални чврсти отпад и опасан отпад (ISBN 86-82931-17-6), пп. 95-98
- [8] Петровић, О., Обрадовић, В. (2005): Филаментозне бактерије активног муља-проблем биолошког пречишћавања отпадних вода. Квалитет вода III – 3 (ISSN 1451-5571), пп. 24-26
- [9] Обрадовић, В., Петковић, А., Burger, B., Петровић, О. (2006): Искуства, потребе и значај биолошких анализа у контроли рада уређаја за пречишћавање отпадних вода. Отпадне воде, комунални чврсти отпад и опасан отпад (ISBN 86-82931-17-6), пп. 107-112
- [10] Bick, H. (1972): Ciliated Protozoa. World Health Organization, Geneva
- [11] Eikelboom, D. (2000): Process Controll of Activated Sludge Plants by Microscopic investigation. IWA Publishing, London
- [12] Љиљана Мојовић: Биолошка обрада отпадних вода, Збирка решених задатака са теоријским основама, Технолошко - металуршки факултет, Београд, 2004.