

Универзитет у Крагујевцу

Факултет инжењерских наука



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: 355/2010

Ђорђе М. Димитријевић

МЕМБРАНСКА СЕПАРАЦИЈА У ТРЕТМАНУ ВОДА

мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **др Вања Шуштершич - ментор**
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да изнесе основне напомене о саставу и третману отпадних вода, прикаже укратко уређаје који се користе у њиховом третману, опише принцип рада и да подели мембранских уређаја за третман вода, прорачуна и да идејно решење једног постројења за мембранску филтрацију, уради 3Д модел датог постројења и техно-економску анализу исплативости једног таквог постројења

Препоручена литература:

- [1] Мојовић Љ. (2004): Биолошка обрада отпадних вода, Техничко-металуршки факултет, Београд
- [2] Јовановић Д. (2009): Пројекат еколошког збрињавања отпадних вода на нивоу урбане средине, Факултет здравствених наука, Бања Лука
- [3] Стефановић Д. (2010): Ефекти реакционих филтера на бази модификованих природних минерала у пречишћавању отпадних вода, Нови Сад

Садржај:

РЕЗИМЕ.....	3
1.0УВОД.....	4
1.1. Хидролошки циклус	5
1.2. Карактеристике природних вода.....	6
1.3. Загађивање вода и њихова заштита	9
1.4. Изворишта воде за пиће	10
2.0. НАЧИНИ ТРЕТМАНА ВОДЕ ЗА ПИЋЕ И ОТПАДНИХ ВОДА.....	13
2.1.Стандарди квалитета воде за пиће	13
2.1.2. Показатељи квалитета воде и њихов значај	14
2.1.3. Састав и карактеристике отпадних вода	17
2.3.1.Показатељи особина отпадних вода	17
2.1.4. Биолошки састав отпадне воде	21
2.2. Врсте третмана у процесима пречишћавања отпадних вода.....	21
2.2.1. Аеробни третман.....	21
2.2.2. Процес са активним муљем.....	22
2.2.3. Биолошки процеси прераде отпадних вода у аеробним лагунама.....	22
2.2.4. Биолошки процеси прераде отпадних вода аеробним (плитким) језерима	23
2.2.5. Анаеробни третман	23
2.2.6. Аеробно - анаеробни процеси	24
2.2.7. Методе пречишћавања отпадних вода	25
3.0. МЕМБРАНСКИ СИСТЕМИ У ПРОЦЕСУ ТРЕТМАНА ВОДЕ ЗА ПИЋЕ.....	34
3.1. Мембрански процеси	34
3.2. Мембрански модули.....	36
3.2.1.Плочасте мембрански модули	36
3.2.2.Спирално увијени мембрански модули	37

3.2.3.Тубуларни мембрански модули	39
3.2.4. Капиларни мембрански модули	40
3.2.5. Мембрански модули са шупљим влакнима	41
3.3. Накнадни поступци пречишћавања	42
3.3.1. Дезинфекција – физичке методе	42
3.3.1.1. Дезинфекција загревањем	42
3.3.1.2.Микрофилтрација	43
3.3.1.3. Зрачење.....	43
4.0. МЕМБРАНСКИ СИСТЕМИ У ПРОЦЕСУ ТРЕТМАНА ОТПАДНИХ ВОДА.....	44
4.1. Класификација мембранских процеса	44
4.1.1Мембрански модули.....	44
4.2.Мембрански биореактори	46
4.2.1 Екстрактивни мембрански биореактор	48
4.2.2 Мембрански биореактор са јонском изменом.....	48
4.2.3 Мембрански биореактор са трансфером гаса	49
4.2.4 Мембрански биореактори под притиском.....	50
4.2.5 Мембрански реактори под притиском и са трансфером гаса.....	50
4.3. Примери примене биодискова који се користе у свету	52
5.0.ПРОРАЧУН ЈЕДНОГ МЕМБРАНСКОГ ПОСТРОЈЕЊА.....	55
5.1. Димензионисање мембранског постројења	57
6.0. 3Д МОДЕЛ МЕМБРАНСКОГ СИСТЕМА.....	59
7.0 ТЕХНО-ЕКОНОМСКА АНАЛИЗА.....	64
7.1. Цена одржавања.....	64
7.2. Инвестициони и експлоатациони трошкови	65
8.0. ЗАКЉУЧАК.....	66
9.0. ЛИТЕРАТУРА.....	67

РЕЗИМЕ

Мембранска технологија је у протеклој деценији постала технологија која се све више користи за сепарацију и третман вода. Главна предност ове технологије је што ради без додавања хемикалија, са релативно ниском потрошњом енергије и лако и веома уређеним процесом третмана.

Мембранска технологија је термин за велики број различитих, врло карактеристичних процеса сепарације. Ови процеси су исте врсте, јер се у сваком од њих користе мембране. Мембране се више и чешће користе за стварањ процесне воде из подземних вода, површинских вода или отпадних вода и оне су сада конкуренција конвенционалним техникама пречишћавања. Принцип рада је врло једноставан: мембрана делује као специфичан филтер који омогућава проток воде, док хвата суспендоване материје и друге супстанце.

Постоје различите методе које омогућавају да супстанца продре кроз мембрану. Мембране омогућавају селективно раздвајање кроз зид. Одређене супстанце могу проћи кроз мембрану, док друге не.

Кључне речи: мембранска технологија, мембрана, филтер, третман отпадних вода.

ABSTRACT

Membrane technology has become technology which use separation and water treatment over the past decade. The main force of membrane technology is the fact that it works without the addition of chemicals, with a relatively low energy use and easy and well-arranged process of treatment.

Membrane technology is term for a number of different, very characteristic separation processes. These processes are of the same kind, because in each of them a membrane is used. Membranes are used more and more often for the creation of process water from groundwater, surface water or wastewater. Membranes are now competitive for conventional techniques. The principle of work is quite simple: the membrane acts as a very specific filter that will let water flow through, while it catches suspended solids and other substances.

There are various methods to enable substances to penetrate a membrane. Membranes occupy through a selective separation wall. Certain substances can pass through the membrane, while other substances are caught.

Keywords: membrane technology, membrane, filter, wastewater tretment

1.0 УВОД

Вода је једна од најважнијих основних материја у природи и неопходна је за одржавање биљног, животињског и људског живота. Вода у природи је најраспрострањенија материја. Налази се у атмосфери, хидросфери, криосфери, биосфери и литосфери. Она у организму човека одржава потребан хидростатички, осмотски и онкостатички притисак, а такође омогућава метаболизам. У одсуству воде живот се гаси за неколико дана.

У XXI веку животна средина постаје све више загађена, а површинке и подземне воде директно и индиректно угрожене услед свакодневног избацивања отпадних вода најразличитијег састава. Потрошња воде за разне потребе постаје све већа, што узрокује и пораст количина отпадних вода. Оваквим трендом пораста загађења вода значајно се угрожава човекова животна средина. Узимајући у обзир чињеницу да већина насеља данас не располажу са исправним санитарно-техничким решењем одвођења отпадних вода, неопходно је приступити изградњи јединственог система одвођења и пречишћавања отпадних и загађених вода што је нужни корак према очувању здраве човекове околине.

Основни узрок загађивања површинских вода представља упуштање непречишћених отпадних вода у реципијенте. Као главни извори загађивања вода издавају се отпадне воде из насеља и отпадне воде из појединих производних погона. Крајњи реципијент за све отпадне воде (из насеља и индустријских објеката) јесу реке.

Данас постоји знатан број метода за пречишћавање вода. Које од ових метода ће се примењивати зависи од низа чињеница.

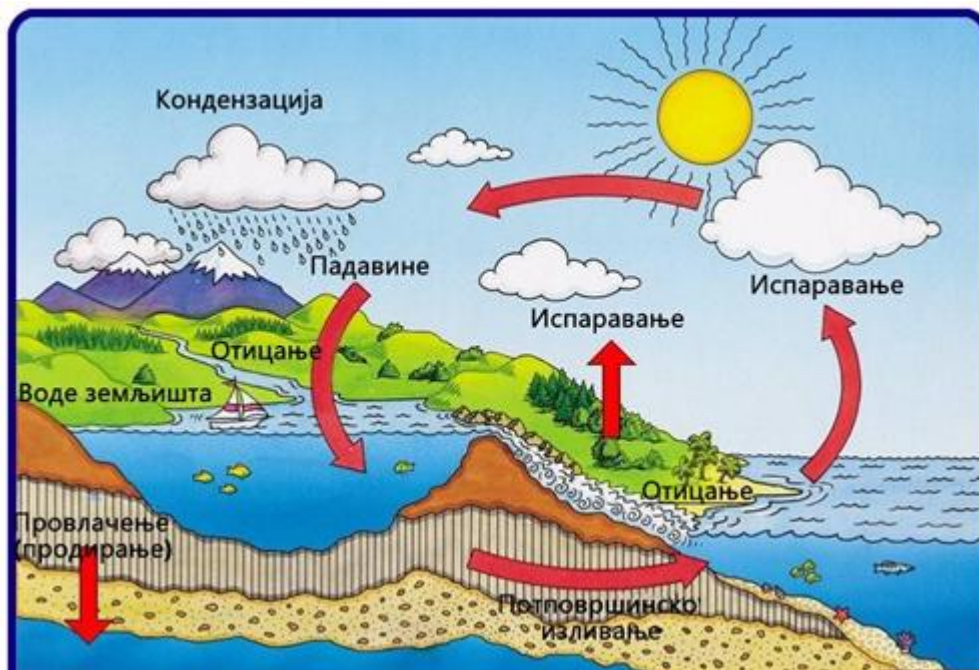
1.1. Хидролошки циклус

Вода се у биосфери налази у течном стању, а појављује се и у облику паре, као и у чврстом стању. Вода је у природи најраспрострањенија материја и покрива 71% површине Земље. Од укупне количине воде само 2,4% воде је слатка вода и може се употребити за задовољавање већине људских потреба. У табели 1. дат је преглед расподеле слатких вода на Земљи. Највећи део слатких вода се налази заробљен у леду на северном и јужном полу. Други, већи део, се налази у подземним водама. У рекама се налази запремински најмање слатких вода у односу на укупну расположиву количину на планети. Значајни део слатких вода се налази у атмосфери. Имајући у виду стално загађивање вода, у атмосфери се налази најчистија вода, али не сме се заборавити да се у последње време интензивно загађује атмосфера, па и квалитет ових вода се доводи у питање.

Вода	%
Лед (поларни, ледници, ...)	78,10
Подземна вода	21,03
Влага тла	0,45
Језера (слатководна)	0,37
Реке	0,005
Атмосфера	0,039

Табела 1. *Распоред слатке воде на Земљи у процентима*

Све ове воде су међусобно зависне и налазе се у сталном природном кружењу (хидролошки циклус). Овај процес условљен је дејством сунчеве енергије и силом гравитације, а састоји се од испаравања, преноса водене паре ваздушним масама, формирања облака и атмосферских падавина као и површинског и подземног отицања које утиче у реке, језера, мора и океане (слика 1.1). Захваљујући овом циклусу стално се врши измена и формирање слатких вода на Земљи, и на тај начин се одржава да слатке воде остану релативно незагађене, бар у областима где нема велике индустрије и где је људска активност смањена.



Слика 1.1. Приказ хидролошког циклуса на Земљи

На територији Србије просечно годишње падне око 65 милијарди m^3 воде. Од ове количине отиче око 16 милијарди m^3 , а остатак од око 49 милијарди m^3 евапотранспирацијом се враћа у атмосферу. Водотоковима дотиче на територију Србије још око 162,5 милијарди m^3 воде.[1]

1.2. Карактеристике природних вода

Према пореклу воде могу да се сврстају у три групе:

- Атмосферске: киша, снег, роса, мраз, магла итд.
- Површинске: океани, мора, реке, језера, мочваре.
- Подземене воде: реке понорнице, извори итд.

Иако Земљу називамо "водена планета" веома мали део воде се може без проблема користити за пиће или за одржавање биљног света. Још ако се зна да је до сада човек својим бахатим понашањем загадио један велики део тих ресурса, намеће се потреба за заштитом вода. Са друге стране, иако је вода према хемијском саставу једињење водоника и кисеоника, она се у таквом саставу у природи не налази, већ она садржи низ разних супстанци растворених у њој. Чак и атмосферска вода представља раствор који садржи CO_2 , O_2 , N_2 , NH_3 итд., а изнад индустријских области и градских насеља атмосферска вода садржи још SO_2 , H_2S , HCl , чађ итд.

Вода пролази кроз земљу, раствара поједине компоненте у земљиној кори, па њен хемијски састав зависи од састава земљишта кроз који протиче. Хемијски састав природних вода на Земљи није јединствен. У води се могу наћи тако рећи сви елементи

периодног система. У зависности од њиховог садржаја неки од ових елемената могу бити и штетни за живи свет, а неки изузетно корисни. Поред неорганских материја природна вода садржи и органске материје као што су хуминске материје (хуминске и фулвинске киселине). Поред ових природних загађења због улива непречишћених отпадних вода у природне водотокове у води се могу наћи различита једињења као што су пестициди, нафта, детерџенти, уља и масти и низ других органских и неорганских једињења.

Природне воде, у зависности од свог порекла, имају различите карактеристике. Најчистије су атмосферске падавине. Подземне воде из већих дубина најквалитетније су за пиће. Обично су тврде од плићих и практично немају бактерија и растворених органских материја. Плитке подземне воде обично су безукусне и садрже много органских материја, гвожђа и силицијумове киселине. На локалитетима где је интензивно испирање, плитке подземне воде су високоминерализоване. Ове воде се лако загађују.

Састав површинских вода је различит. Брдски потоци и реке обично су врло чисти. Органских материја и бактерија имају врло мало, а мала је и тврдоћа воде. Речне воде, које човек највише користи, знатно варирају по свом саставу, а много зависе од квалитета вода које примају. Живи организми у води имају такође утицај на састав природних вода. Језерска вода може бити слатка и слана. Вода слатководних језера је врло слична речној води. Барске воде садрже мало неорганских соли, али много органских материја. Квалитет вода акумулација највише зависи од воде која их напаја. У самој фази пуњења акумулације водом већ настају битне промене, поготово ако простор за акумулацију није припремљен. Због велике количине хранљивих материја, високе прозрачности воде и утицаја сунчевих зрака, развијају се различити биљни и животињски организми, који обогаћују воду органским материјама, што може бити неповољно за експлоатацију воде.

Из датог приказа основних карактеристика природних вода, може се видети да је њихов састав веома различит. Разлике настају због специфичних физичко-хемијских и биолошких процеса који се у њима дешавају, због међусобног комуницирања различитих вода, због промене хидрометеоролошких услова, као и других утицајних фактора (геолошки састав земљишта, географски положај итд.).

Испитивање квалитета површинских и подземних вода на територији Републике Србије спроводи се по „Програму садржаном у Уредби о систематском испитивању квалитета вода“, коју почетком сваке календарске године доноси Влада Републике Србије, водећи рачуна да буду испоштовани критеријуми за најцелисходније временско и просторно сагледавање режима вода.

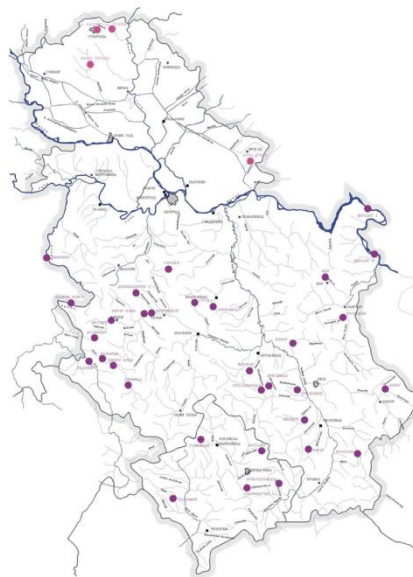
Програм дефинише обим, врсту и учесталост испитивања (слика 1.2):

- испитивање квалитета вода водотока,
- испитивање квалитета вода акумулација,
- испитивање квалитета вода изворишта првога ранга,

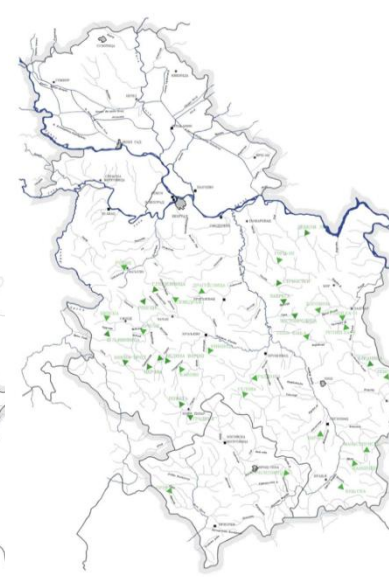
- испитивање квалитета вода подземних вода прве издани,
- испитивање квалитета седимента у рекама,
- испитивање квалитета муља у акумулацијама.[1]



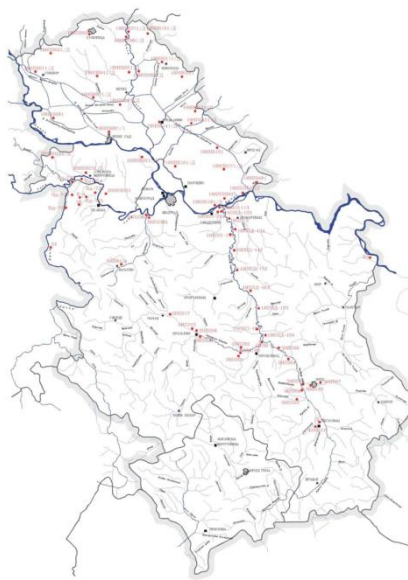
водотоци



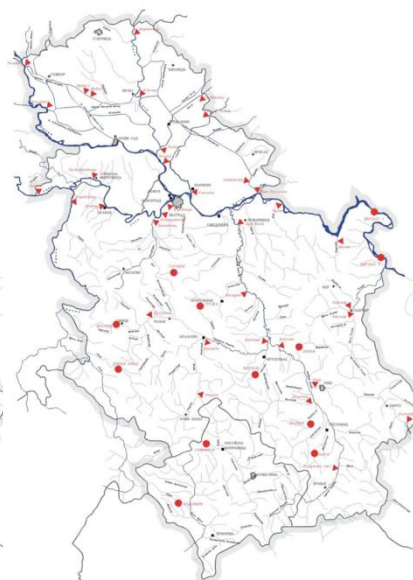
акумулације



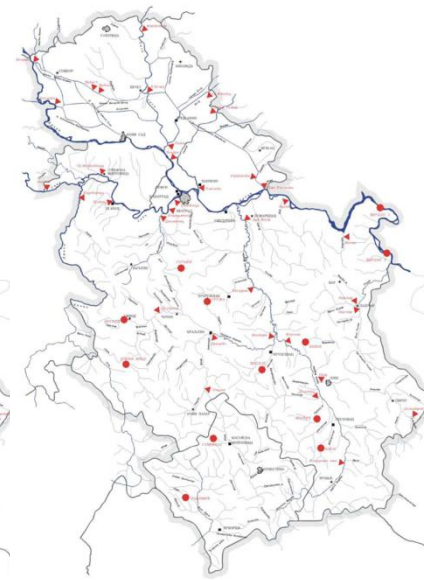
изворишта



подземне воде



седименти у рекама



муљ у акумулацијама

Слика 1.2. Испитивање квалитета воде

Поједине класе обухватају:

- **Класа I** - воде које се у природном стању, уз евентуалну дезинфекцију, могу употребљавати за пиће и у прехранбеној индустрији, а површинске воде и за гајење племенитих врста риба (salmonide).
- **Класа II** - воде које се у природном стању могу употребљавати за купање и за рекреацију грађана, за спортове на води, за гајење других врста риба (cipiride), или воде које се уз уобичајне методе обраде (коагулација, филтрирање, дезинфекција и сл.) могу употребљавати за пиће и у прехранбеној индустрији.
- **Класа III** - воде које се могу употребљавати за наводњавање а после уобичајних метода обраде и у индустрији, осим у прехранбеној индустрији.
- **Класа IV** - воде које се могу употребљавати за друге намене само после одговарајуће обраде. [1]

1.3. Загађивање вода и њихова заштита

Нагли развој индустрије условио је већу потрошњу воде, а тиме и продукцију веће количине отпадних вода. Хемијска, петрохемијска и њима сличне специјализоване индустрије су најозбиљнији загађивачи водених ресурса, због смањења могућности уклањања неких загађења из њихових отпадних вода класичним и јефтиним методама обраде. Проласком кроз класична постројења за пречишћавање отпадних вода, скоро у непромењеном облику, такве врсте загађења доспевају у водотокове и у мањој или већој мери утичу на њихов квалитет. На тај начин јавља се потреба за специјалном обрадом отпадних вода или припремом воде за пиће и индустрију из тако већ загађених водених ресурса. Загађивачи вода су многобројни и можемо их сврстати на концентрисане и расуте загађиваче.

Концентрисани загађивачи су обично разни објекти у којима се обавља нека делатност и људска насеља. Најчешће су то:

- урбана насеља,
- индустријски објекти (хемијске, петрохемијске, прехранбене, металне и друге индустрије),
- енергетски објекти (термоелектране, топлане, нуклеарне електране, прерада нафте, прерада угља и хидроенергетски објекти),
- пољопривредни објекти за тов стоке,
- депоније (уређене).

Расуте изворе загађења вода није лако утврдити нити израчунати њихов укупан допринос општем загађивању вода, али су веома значајни јер им је квантитативни и квалитативни раст евидентан. У расуте загађиваче спадају:

- хемизација земљишта пестицидима и минералним ђубривима,
- сметлишта (дивље неуређене депоније индустријског и комуналног отпада),
- амосферске падавине (киселе кише),
- саобраћај.

Ако се настави постојећи тренд загађивања вода озбиљан ће бити проблем коришћења неких водених ресурса због потенцијалне могућности уградње загађења у прехранбени ланац. Заштита вода од загађивања може се остварити на два основна начина. Један је да се у природне воде не испуштају отпадне воде, а други је пречишћавање отпадних вода, као и уклањање загађења из атмосферског ваздуха и правилно одлагање отпадног материјала чиме се спречава загађење вода која је у контакту са атмосфером и земљиштем.

Због техничких проблема једва да се може очекивати да ће се вода у индустрији користити у потпуно затвореном циклусу, што би, практично, требало да буде далекосежни циљ газдовања свим материјалним добрима и енергијом. Отпадне воде би се морале у кружни ток воде вратити само онолико загађене колико се могу самопречистити и таквог квалитета да не утичу на укупни квалитет постојеће воде.

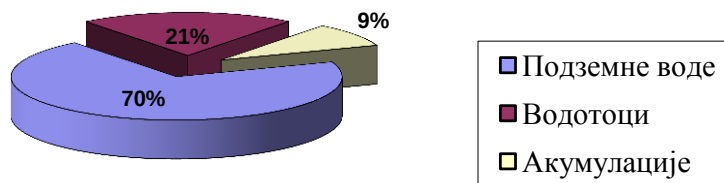
Према прикупљеним подацима у Србији су изграђена постројења за пречишћавање градских отпадних вода у 37 места са укупним капацитетом од 1.000.000 ES (еквивалентних становника). Ефекат рада ових постројења је изузетно лош и у просеку је испод 50%. У десет насеља постројења су „давно напуштена и руинирана до те мере да је њихова реконструкција нерационална“ (Богдановић и др. 1995.). Ради поређења наше ситуације, пречишћава се свега 7,6%, укупног органског загађења. Свега 13% постројења ради са задовољавајућим ефектом. Ово врло мало доприноси заштити вода, поготово што се већина ових процеса могу сматрати предтретманом.[1]

1.4. Изворишта воде за пиће

Као изворишта воде за пиће користе се подземне и површинске воде. Површинске воде се узимају из реке и акумулације, а од подземних вода користе се највише алувијалне воде, воде из основног водоносног комплекса, воде из карста, воде из издани у оквиру неогених наслага и издани пукотинске порозности.

Процењује се да подземне воде обезбеђују око 70% потреба за водом за домаћинства и индустрију у Србији (слика 1.3), а на подручју Војводине је ово искључиви вид водоснабдевања. Према расположивим статистичким подацима и процени количина које се експлоатишу за потребе јавног и индивидуалног водоснабдевања сеоског становништва, данас се у Србији експлоатише укупно око 500 милиона m^3 подземне воде. Укупни капацитети постојећих изворишта подземних вода у Србији износе укупно око 678 милиона m^3 годишње или 21,5 m^3/s , од тога 6,25 m^3/s за Војводину и 15 m^3/s за Централну Србију. На Косову и Метохији доминира

снабдевање водом из површинских акумулација. У централној Србији учешће површинских вода је око 10%.[1]



Слика 1.3. Републички Завод за статистику

Данас укупно захваћена количина подземних вода за јавно водоснабдевање становништва и индустрије у Србији износи око $18,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Највећи део подземних вода захвата се у подручју алувијалних речних токова - око $12,0 \text{ m}^3/\text{s}$. Из осталих водоносних средина се захватају знатно мање количине подземних вода, укупно $6,5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Алувијални наноси већих река су по правилу већих дебљина, а пресечене су речним токовима, одакле произилази чињеница да постоје добри предуслови за природно прихрањивање издани. Савремена тенденција коришћења подземних вода је примена вештачке инфилтрације.

	Укупне количине воде за снабдевање	Захваћене количине воде					Преузете количине из других јавних водовода или система других предузећа
		укупно	из подземних вода	из изворских вода	из водотока	из акумулација воде	
1999							
Република Србија	695 590	682 793	405 604	99 968	120 856	56 365	12 797
Централна Србија	538 624	525 827	248 755	99 928	120 779	56 365	12 797
Војводина	156 966	156 966	156 849	40	77	-	-
2004							
Република Србија	730 041	710 494	404 187	94 920	150 552	60 835	19 547
Централна Србија	573 984	554 437	248 815	94 312	150 475	60 835	19 547
Војводина	156 057	156 057	155 372	608	77	-	-
2005							
Република Србија	708 246	688 544	417 558	94 372	118 615	57 999	19 702
Централна Србија	555 526	535 824	265 330	93 958	118 537	57 999	19 702
Војводина	152 720	152 720	152 228	414	78	-	-

Табела 2. *Годишњи извештај о јавном водоводу ВОД-2В, у трогодишњој периодици, од 1999. до 2005.године*

**(Од 2004. ово истраживање се спроводи годишње.Овим извештајем добијају се и подаци о испорученим количинама воде према намени, квалитету воде, водоводној мрежи и уређајима за пречишћавање воде, броју домаћинстава којима је испоручена вода. Све јединице су изражене у хиљ. m³)*

Површинске воде из река се захватају са око 2,5 m³/s, а из акумулација око 3,5 m³/s. Из водотока се могу захватити и веће количине, али је то у принципу ограничено квалитетом вода у водотоку. Како је заштита вода код нас ниска, постоје велика ограничења за коришћење водотока као изворишта воде за пиће.

2.0. НАЧИНИ ТРЕТМАНА ВОДЕ ЗА ПИЋЕ И ОТПАДНИХ ВОДА

Сирова вода, тј. вода коју преко водозахватних објеката узимамо за потребе водоснабдевања никад није апсолутно чиста. Она увек садржи, мање или више, различите материје у раствореном и суспендованом стању, а које су унешене из околине кроз коју пролази (са површине литосфере, кроз хидрогеолошки медиј, кроз атмосферу итд.).

У води такође могу да се нађу унешене разне врсте загађења. Да би се утврдило присуство појединих супстанци у сировој води, морамо на бази прописано узетих узорака извршити одговарајуће анализе чије резултате упоређујемо са важећим стандардима воде за пиће. Резултати поређења говоре да ли и у којој мери треба вршити кондиционирање воде.

Кондиционирање воде за пиће подразумева коришћење различитих процеса и операција којима се уклања неки недостатак сирове воде, понекад и читав комплекс недостатака, а понекад се вештачки поправља одређено својство које захтевају потрошачи, односно стандарди којима су прописани критеријуми квалитета воде за пиће.

Методe за припрему воде за пиће обухватају низ главних и допунских процеса и операција који се комбинују у оквиру технолошког поступка, често и са посебним третманом, чија шема кондиционирања може бити веома једноставна (нпр. само дезинфекција воде), али и крајње комплексна.

2.1. Стандарди квалитета воде за пиће

Стандарди квалитета воде за пиће могу бити релативни и апсолутни. Код релативних стандарда постављају се начелни захтеви, као нпр. да би вода за пиће требало да је чиста у физичком, хемијском и бактериолошком погледу. Апсолутни стандарди - национални, међународни, регионални и сл., прецизирају следеће захтеве:

- садржај катјона у води - калцијума (Ca^{2+}), магнезијума (Mg^{2+}), гвожђа (Fe^{2+} или Fe^{3+}), мангана (Mn^{2+}), натријума (Na^{+}) и калијума (K^{+}),
- садржај анјона у води - бикарбоната (HCO_3^{-}), карбоната (CO_3^{2-}), сулфата (SO_4^{2-}), хлорида (Cl^{-}),
- укупни садржај соли - сума свих катјона и анјона,
- укупну тврдоћу - карбонатну и некарбонатну,
- оксидативност,

- концентрацију водоник јона - рН вредност,
- количина растворених гасова - угљен-диоксида, сумпор-водоника и кисеоника.

У нашој земљи је на снази „Правилник о хигијенској исправносри воде за пиће“. Овај правилник садржи 133 индикатора хигијенске исправности воде за пиће и 384 норме. Од међународних стандарда најважнији су они које прописује светска здравствена организација WHO, као и Савет економске заједнице - директиве о квалитету воде намењене за људску потрошњу (бр.80/778/ЕЕС).

2.1.2. Показатељи квалитета воде и њихов значај

Показатељи квалитета воде могу бити: физички, хемијски и санитарни.

Физичка својства или показатељи воде су: температура, боја, мирис, укус, мутноћа, резидуалне чврсте материје и проводљивост.

- Температура воде - Температура је битан критеријум исправности воде. Најпогоднија температура воде за пиће је 281,16 - 285,16 (K) или (8 - 12°C). Порастом температуре вода губи питкост, више се пије да утоли жеђ што може штетно деловати на дигестивни тракт. Хладнија вода је непогодна за слuzокожу ждрела и дигестивни тракт. Порастом температуре воде повећава се брзина хемијских реакција и опада растворљивост важнијих гасова, затим опада њена густоћа и вискозност, па се суспендоване материје лакше и брже таложе.
- Боја воде - Боја воде најчешће води порекло од хуминских материја. Нема већи санитарни значај, мада није пожељна из естетских разлога. Обојена вода компликује процес коагулације у фази припреме воде за пиће. Гранична вредност за интензитет боје воде за пиће, (није дата) требало би да је 10 - 20° кобалт-платинске скале, односно до највише 20 mg/l потрошње KMnO_4 ако вода садржи хуминске материје.
- Мирис и укус воде - Мирис и укус настају због присуства микроорганизама, мртвих или живих, отопљених гасова (водоник-сулфид, метан, угљен-диоксид или кисеоник), органских материја, минералних супстанци (натријум-хлорид, једињења гвожђа, карбонати и сулфати других елемената), феноли и друге катранске и уљне материје нарочито после хлорисања. Непријатан укус воде настаје због њеног загађења киселинама из рудника и загађеним водама индустрије. Вода за пиће треба да је без мириса и укуса. Заправо, вода за пиће мора имати питак укус, који освежава.
- Мутноћа воде - Мутноћа настаје због садржаја суспендованих и колоидних материја. Мутноћа је карактеристична за површинске, крашке и плитке подземне воде. Настаје најчешће спирањем тла, падавинама, а може потицати од живих и мртвих микроорганизама. Мутна вода непогодна је за пиће и неке индустријске

процесе (производња хране и пића). Гранична вредност за мутноћу, изражена у нефелометријским јединицама (NTU), износи до 1,2.

- Резидуалне чврсте материје - То су материје које остану иза испаравања, јер у води увек постоји већа или мања количина отопљених или суспендованих материја. За пиће су најпогодније воде чији је резидуални остатак до 500 mg/l, мада је по нашем правилнику за конидициониране воде дозвољено до 800 mg/l. Вода са већом количином резидуалног остатка (тврда вода) није погодна за индустријску употребу.
- Проводљивост - Проводљивост је користан физикални показатељ квалитета воде (повећање говори о неком загађењу), јер се преко мерених вредности електричне проводљивости воде може добити индикација о концентрацији укупно отопљених материја (степен минерализације воде). За ово је потребно и познавање коефицијента пропорционалности (K_O) за поједине врсте вода чија се вредност креће од 0,55 - 0,90 (проводљивост = K_O /укупно отопљене материје). Вода за пиће има проводљивост од 5 - 50 $\mu\text{S}/\text{m}$, а неке индустријски загађене воде прелазе и 1000 $\mu\text{S}/\text{m}$. Нашим Правилником о хигијенској исправносри воде за пиће проводљивост је ограничена до 500 $\mu\text{S}/\text{m}$ при 293,16 K.

Хемијска својства воде за разлику од физичких разноврснија су и важнија за моменталну процену квалитета. Свака хемијска супстанца може да буде отров, што зависи од концентрације, дужине уношења и својства саме супстанце. За оцену повољности воде за пиће најважнија су: активна реакција, тврдоћа, оксидативност (редокс-потенцијал) и др.

- Активна реакција - Она карактерише киселост (ацидитет) или базичност (алкалитет) воде и дефинише се као негативан логаритам концентрације водоник јона, $pH = -\log[H^+]$. Код неутралне реакције је $pH = 7$, базичне $pH > 7$ и киселе $pH < 7$. Вредност pH показатеља код воде за пиће треба да се креће у границама 6,5 - 9,5. Киселе воде су агресивне, потпомажу корозију, а утичу и на неке хемијске и биолошке процесе кондиционирања. Киселост воде потиче од слабих киселина (већина органских киселина), затим од соли метала (нпр. гвожђа, алуминијума, итд.), као и од слободно присутних јаких киселина. Базичност потиче од карбоната, бикарбоната и хидроксида, а такође, у мањој мери, и од анјона слабих киселина (фосфата, силиката).
- Тврдоћа воде - Тврдоћа воде условљена је постојањем растворених соли калцијума и магнезијума. Разликујемо карбонатну тврдоћу (пролазна) која потиче од металних јона везаних у облику бикарбоната и некарбонатну тврдоћу (стална) одређену количином некарбонатних соли (хлорида, сулфата и нитрата калцијума и магнезијума). Карбонатна и некарбонатна тврдоћа чине укупну тврдоћу воде, која би код воде за пиће требало да буде у границама 10 - 500 mg/l. Ипак, количине веће од 100 - 200 mg/l могу се сматрати непожељним за домаћу и индустријску употребу. У пракси се тврдоћа воде изражава у степенима

немачке, француске и енглеске скале. Тако нпр., један немачки степен износи: (1°dH) 10 mg CaO/l = 17,90 mg CaCO₃/l. Вода је са тврдоћом од:

- 0 - 4° dH (0 - 55 mg/l) - мека,
- 8 - 12° dH (56 - 200 mg/l) - слабо до средње тврда,
- преко 30° dH (201 - 500 mg/l) - врло тврда.

Тврде воде су непожељне у индустрији због веће потрошње горива за загревање котлова, формирања каменца и сл. Иначе се сматра да оне не представљају опасност по људско здравље.

- Оксидативност (редокс-потенцијал) - Оксидативност је укупан садржај загађивача (органских и неорганских) који реагују са јаким оксидансима. Оксидативност се одређује у (mg/l) кисеоника потребног за оксидацију загађивача. Код оксидације стално се мења однос између концентрације оксидираног (O_x) и редуцираног облика полутанта (Red). Потенцијал потребан за прелаз електрона са оксиданта на редукцент назива се редокс-потенцијал (E). Сва оксидирајућа способност воде готово у потпуности потиче од раствореног кисеоника (атмосферског или оног насталог у процесу фотосинтезе зелених биљки). Његово је присуство од суштинске важности за одржавање виших облика биолошког живота, због тога растворени кисеоник представља један од најважнијих показатеља квалитета воде. Чисте воде, засићене кисеоником, имају пријатан и освежавајући укус, док се за индустрију траже воде са мањом количином раствореног кисеоника због оксидације и корозије. Поред описаних показатеља квалитета воде, у одређеним условима важни су и следећи показатељи: једињења азота, хлориди, халогениди, фосфати, азбест, феноли, фенили, минерална уља, водоник-сулфид, укупни органски угљеник и метали.

Садржај бактерија у води за пиће чини најважнији санитарни (хигијенски) показатељ квалитета воде. Вода се загађује патогеним и другим микроорганизмима путем фекалног загађења људског и животињског порекла. Због директне опасности по здравље становништва, вода за пиће не сме да садржи такве микроорганизме. Индикатори фекалног загађења воде дозвољавају се у зависности од врсте и значаја воде (пречишћена вода, дезинфикована, флаширана и природна - сирова вода). Пошто се патогене бактерије тешко доказују у води за пиће, истражују се само индикатори фекалног загађења, и тек када се на основу базног или проширеног прегледа установи одступање од микробиолошких особина, онда се у складу са важећим „Правилником о хигијенској исправносри воде за пиће“, траже и патогени микороорганзми салмонела и шигела врсте, али не и вобрио-колере, вируси итд. Уколико постоје хигијенско-епидемиолошке индикације, пратиће се и други микороорганзми, сем салмонела и шигела врсте. У погледу бактериолошких норми нема никаквих одступања у ванредним приликама и рату у односу на свакидашње стање. Истина, у ванредним приликама и рату прате се само два индикатора фекалног

загађења - укупан број аеробних мезофилних бактерија и укупан број колиформних бактерија.[1]

2.1.3. Састав и карактеристике отпадних вода

Отпадне воде представљају у ствари мешавину разних водом ношених нечистоћа (отпадака). Стога особине ових вода битно зависе од њиховог порекла (домаћинства или индустријске воде).[2]

2.3.1. Показатељи особина отпадних вода

Главни показатељи особина отпадних вода јесу:

- крупни (површински) отпаци,
- распршене (суспендоване) и отопљене материје,
- микроорганизми,
- хранљиве соли (биогене соли),
- постојане (перзистентне) материје,
- отровне материје,
- радиоактивне материје,
- отопљени гасови,
- повишена температура воде.

Крупни отпаци јесу папир, крпе, коре од воћа и остали крупнији органски и неоргански отпаци. За разградњу (декомпозицију) крупних органских отпадака се троши кисеоник, па се тако смањује количина отопљеног кисеоника у води.

Распршене и отопљене материје које се налазе у отпадним водама су материје органског и неорганског (минералног) порекла. Распршене материје су крупније честице од отопљених материја и које се у отпадним водама налазе у облику јона и молекула. Прелаз између распршене и отопљене материје чине колоиди, тако да је уобичајена следећа класификација:

- отопљене материје, димензија честица до $1 \text{ [nm]} = 10^{-6} \text{ [mm]} = 10^{-9} \text{ [m]}$,
- колоиди, димензија честица од 1 [nm] до $1 \text{ [μm]} = 10^3 \text{ [nm]} = 10^{-3} \text{ [mm]} = 10^{-6} \text{ [m]}$,
- распршена материја, димензија честица преко 1 [μm] . Оријентацијски, за димензије честица до 10 [μm] распршена материја је неталожива, а преко 10 [μm] је таложива.

Отопљена и распршена материја узрокује промену боје у води, а распршена материја и колоиди праве мутноћу. Повећана мутноћа воде спречава продирање светлости, што успорава фотосинтезу. Због тога се у већим дубинама смањује количина кисеоника, па се повећава зона анаеробне разградње органске материје, чиме се стварају гасови непријатног мириса. (Мирис у води може потицати и од уношења неких хемијских једињења, нарочито кад се уводе индустријске отпадне воде).

Микроорганизми (вируси, бактерије, плесни, алге) су једноћелијски и вишећелијски организми који се налазе у свим отпадним водама. За процесе пречишћавања отпадних вода од нарочитог су значаја следеће две групе микроорганизама:

- микроорганизми разлагачи (сапрофагни микроорганизми),
- микроорганизми из пробавног тракта људи и животиња (фекални микроорганизми).

Микроорганизми разлагачи биолошки разграђују органску материју до неорганске, троше отопљени кисеоник, па се може појавити нежељени мањак (дефицит) кисеоника, односно анаеробно стање.

Према оптималној температури, T [$^{\circ}\text{C}$], за развој, сапрофагни микроорганизми се деле на:

- криофилне (психрофилне), с оптималном температуром, $T = 0$ до 5 [$^{\circ}\text{C}$],
- мезофилне, с оптималном температуром, $T = 20$ до 40 [$^{\circ}\text{C}$],
- термофилне, с оптималном температуром, $T > 40$ (најбоље 55 до 60) [$^{\circ}\text{C}$].

Микроорганизми из пробавног тракта људи и животиња су темељни показатељ отпадних вода из домаћинства, али их има и у индустријским отпадним водама. Међу овом групом микроорганизама су посебно значајни патогени микроорганизми који могу бити узрочници обољења (тифуса, паратифуса, хепатитиса, полиомијелитиса, колере, туберкулозе, дизентерије).

Болести се могу пренети купањем у нечистој води (због додира с кожом или због гутања воде) и нарочито конзумирањем производа из воде (нпр. шкољки које се једу сирове). Као индикатор загађења овим микроорганизмима обично служе бактерије нормалне цревне флоре људи и животиња – колиформне бактерије, одређене као највероватнији број бактерија (НББ). Кад фекални микроорганизми доспеју у пријемник (околину) с другачијим условима за живот (температура, концентрација водоникових атома, ултраљубичасто зрачење), постепено исчезавају. Време исчезавања није једнако за све микроорганизме, а првенствено зависи од садржаја отопљених (храњивих) соли у води. [2]

Храњиве соли настају процесом разградње органске материје из отпадних вода испуштених у природне пријемнике. Овај је процес првенствено везан уз настанак соли азота и фосфора, које учествују у стварању беланчевина и тиме подстичу развој планктона (лебдећих микроорганизама чије је кретање зависно од струјања воде) и зелених биљака. Према томе, испуштањем већих количина отпадних вода богатих органским материјама у водне системе (пријемнике) са слабијом изменом воде (језера, акумулације, морски заливи) знатно се повећава количина храњивих соли у екосистему. Ако су при томе за развој биомасе повољни и остали чиниоци (кисеоник,

светлост и температура) може доћи до прекомерног раста планктона и стварања отровних алги, тј. до појаве еутрофног стања у пријемнику. Иначе, умерено повећана производња биомасе је уопштено корисна за развој рибарства, али и неприкладна за воде намењене рекреацији.

Постојане материје су органске и неорганске биолошки неразградиве или тешко (споро) разградиве материје. И у раздобљу док траје њихова евентуална разградња неповољно делују на водени живот, а могу се и накупљати у организмима.

Од ових је материја у отпадним водама од првенственог интереса су:

- (а) минерална уља и њихови деривати (нарочито нафта и нафтни деривати),
- (б) пестициди,
- (в) детерџенти,
- (г) пластичне масе.

(а) *Минерална уља* доспевају у водне системе из домаћинства и индустријских отпадних вода. На водној површини стварају танку превлаку што због ометања отапања кисеоника из ваздуха смањује количину отопљеног кисеоника у води, те искључује могућност коришћења воде за рекреацију. У топлијим подручјима Земље минерална су уља биолошки разградива (уз високу потрошњу кисеоника), док је у хладнијим пределима разградња врло спора. Иначе, минерална су уља врло отровна за живе организме у води и код концентрације испод 1 [mg/l].

(б) *Пестициди* доспевају у воду испирањем пољопривредног земљишта (где се користе као средства за заштиту биља), али их има и у индустријским отпадним водама. У погледу онечишћења вода међу најопасније пестициде убрајају се хлорисани угљоводоници који се накупљају у масним ткивима. Додатно, омета фотосинтезу једностаничних алги. Због тога је данас производња и примена ове врсте пестицида готово у потпуности забрањена. [2]

(в) *Детерџенте* налазимо у домаћинствима и индустријским отпадним водама. Њима се у водне системе уносе знатне количине фосфата, што може изазвати еутрофикацију. Постојаност детерџената зависи од њихове молекуларне структуре. Тзв. тврди детерџенти (алкилбензенсулфонати тетрамерне врсте) су практично неразградиви. На водној површини ови детерџенти стварају пену и тиме смањују отапање кисеоника из ваздуха.

Меки детерџенти (линеарни алкилсулфонати) се лакше разграђују, али су два до четири пута отровнији од тврдих детерџената.

(г) *Пластичне масе* се налазе у домаћинствима и индустријским отпадним водама у облику конца, мрежица и врећица. Еколошки утицај ових материја није још у потпуности растумачен.

Отровне материје су материје које према својим количинама и својствима узрокују болести живих организама, ненормално понашање, канцерогене и генетичке промене, физиолошке сметње, физичке деформације и смрт.

У отпадним (првенствено индустријским) водама опасне материје представљене су:

- (а) тешким металима (жива, кадмијум, олово, никл, цинк, сребро, селен, манган, хром, бакар, гвожђе),
- (б) отровима (цијаниди, хромати, флуориди).

Мада су неке од ових материја у мањим количинама потребне за развој организма, у већим количинама постају отровне материје са врло неповољним последицама.

Радиоактивне материје могу у води бити природног и вештачког порекла. Природни извори зрачења су радиоактивни елементи литосфере и свемирска зрачења. Вештачки извори зрачења су радиоактивне материје које се налазе у индустријским отпадним водама, првенствено водама нуклеарних електрана, а потом и водама из индустријских погона у којима се користе радионуклеиди. Повећано зрачење може узроковати генетичке промене, стерилност, канцерогене болести и смрт живих организама. Осим тога, радиоактивне материје улазе у биохемијске процесе, концентришући се од нижих према вишим организмима ланца исхране те могу бити врло опасне за живот човека.

Отопљени гасови су у отпадним водама присутни у различитим концентрацијама. Међу најважнијима је кисеоник који је битан за живот великог броја организама у води. Одређена количина кисеоника се добије и његовим обнављањем (оксидацијом) из ваздуха (додиром ваздуха и слободне површине отпадних вода), као и процесом фотосинтезе. Поред кисеоника отпадне воде врло често садрже угљендиоксид, који долази отапањем из ваздуха и разградњом органске материје, те сумпорводоник, који првенствено настаје разградњом органских и неких неорганских спојева.

Повишена температура воде последица је испуштања расхладних вода из индустријских постројења, посебно термоелектрана и нуклеарних електрана. Топлија вода садржи мање отопљеног кисеоника, а убрзава метаболизам живих организама, те се кисеоник брже троши, па се појављује све већи мањак кисеоника. Због тога се мењају животни услови станишта, поступно исчезавају организми који требају више кисеоника и почиње анаеробна разградња мртве органске материје. [2]

2.1.4. Биолошки састав отпадне воде

Комунална отпадна вода садржи велики број живих организама. Микроорганизми који се налазе у отпадној води су важни јер су они један од разлога због чега се врши пречишћавање отпадних вода, а сем тога од њихових активности (разлагања материја) -зависи и успех пречишћавања.

Микроорганизми се могу поделити у две опште групе:

- бактерије
- друге комплексне микроорганизме.

Бактерије се такође могу поделити у две групе:

- паразите
- сапрофите.

Све ове бактерије обављају разградњу органских чврстих материја у отпадној води. Неке од бактерија могу користити само растворени кисеоник у води. Ове бактерије се називају аеробне бактерије, а процес деградације органских чврстих материјала које оне обављају назива се аеробно разлагање. Овај тип разлагања у присуству раствореног кисеоника, обавља се без стварања непријатног мириса и лошег изгледа отпадне воде. Процес деградације органских чврстих материја под утицајем анаеробних бактерија се назива анаеробно разлагање, односно разлагање материја без присуства раствореног кисеоника услед чега долази до стварања непријатног мириса и лошег изгледа отпадне воде.

Обим пречишћавања отпадних вода је занемарљив, што има за последице лош квалитет воде у водотоцима и подземним изворима, чиме се угрожавају изворишта питке воде. Потоци, речице и реке су претворене у колекторе отпадних вода што је недопустиво са аспекта заштите животне средине. Незадовољавајуће стање у области заштите вода већ представља на неким подручјима опасност за здравље људи (долина Ибра, Саве, Мораве, Дунава). Ово је последица одсуства мера и активности којима се штити квалитет вода као и због недовољног улагања у заштиту вода.[3]

2.2. Врсте третмана у процесима пречишћавања отпадних вода

2.2.1. Аеробни третман

Конвенционалне аеробне технологије, засноване на процесима са активним муљем, доминантно се примењују за третман кућних отпадних вода због високе ефикасности, могућности уклањања хранљивих материја и високе оперативне флексибилности. Ипак, високе цене и оперативни трошкови, који се поклапају са

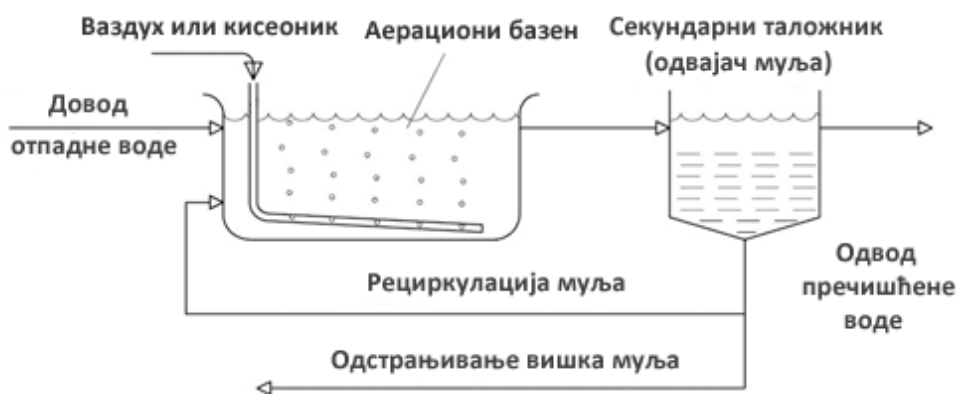
увођењем ових технологија, намећу значајна финансијска ограничења на проширењу покривености овим системима, посебно у земљама у развоју. Да би се повећала примена постројења за третман комуналних отпадних вода, морају се усвојити решења која су поузданија, једноставнија за употребу и нижих експлоатационих трошкова.[4]

2.2.2. Процес са активним муљем

Процес са активним муљем данас представља најраспрострањенији биолошки поступак за пречишћавање отпадних вода. Процес са активним муљем спада у аеробне процесе биолошког пречишћавања отпадних вода јер се одвија помоћу аеробне микробиолошке популације. Савремени поступци са активним муљем се могу применити и за уклањање азотних материја из отпадне воде. У систему са активним муљем микроорганизми се налазе у лебдећем стању, тј. не образују слој на зидовима радних површина (као што је случај при примени филтара).

Технолошки процес укључује примарни третман отпадне воде. Отпадне воде се аеришу у биоаерационом базену (слика 2.1) 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. 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.).[5]



Слика 2.1. Шема поступка са активним муљем

2.2.3. Биолошки процеси прераде отпадних вода у аеробним лагунама

Биолошки процеси прераде отпадних вода у аеробним лагунама примењују се у подручјима са погодним климатским условима. Могу се у потпуности остварити

аеробни услови. Кисеоник се ствара у процесу фотосинтезе. У дубљим лагунама примењује се механичка аерација.

2.2.4. 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.

2.2.5. Анаеробни третман

Анаеробни предтретман кућних отпадних вода може да послужи као одрживо и исплативо решење, због своје релативно ниске цене конструкције и трошкова рада, оперативне једноставности, ниске производње вишка муља, производње енергије у облику биогаза и применљивости и за мала и за средња оптерећења.

Осим тога, захваљујући компактности, предтретман се може налазити у близини, па чак и унутар области прикупљања отпадних вода. Пошто је анаеробни третман заправо метод предтретмана, потребан је одговарајући посттретман како би се постигли локални стандарди за испуштање у водотокове или пак за примену у пољопривредне сврхе.

У анаеробним системима, чврсте материје заробљене су у органским материјама и претварају се у биогаз, који се углавном састоји од метана и угљен-диоксида.

Органски везан азот претвара се у амонијак и сулфат и своди се на угљеник-сулфид. Производња муља у анаеробним системима је ниска и вишак муља је већ знатно стабилизovan и може се даље излити тј. одложити на сушење. Што се тиче микробиолошких показатеља, у анаеробним системима ниска је ефикасност уклањања колиформи. У анаеробном инфлуенту, преостале концентрације суспендованих честица и органских материја, обрађене су у аеробним системима заједно са оксидацијом амонијака и нитрификацијом до нитрата/нитрита. Високо загађене отпадне воде третирају се, по могућству, у анаеробним реакторима због високог нивоа НРК, потенцијала за производњу енергије и ниске продукције вишка муља.

Табела 3.Поређење аеробних и анаеробних третмана

Својство	Аеробни третман	Анаеробни третман
Ефикасност органског уклањања	Висока	Висока
Квалитет ефлуената	Одличан	Умерено лоше
Органско оптерећење	Умерено	Високо
Производња муља	Висока	Ниска
Захтев за супстратима	Висок	Ниска
Захтев за алкалношћу	Ниско	Висок за одређене индустријске воде
Захтев за енергијом	Висок	Умерено низак
Температурска осетљивост	Ниска	Висока
Време стартовања	2-4 недеље	2-4 месеца
Мириси	Постоје мале могућности	Потенцијални проблеми
Биоенергија и поврат нутријената	Не	Да
Врста третмана	За све типове (зависно од сировине)	Углавном за предтретман

Међутим, у практичној примени, анаеробни третман пати од ниског раста микроорганизама, ниске стопе засејавања, нестабилности процеса и потребе за накнадним третманом ефлуента, који често садржи јоне амонијака NH_4^+ и водоник-сулфида H_2S . Код ових процеса, потпуна стабилизација органских материја је немогућа, због високо оптерећених отпадних вода. Излазни ефлуент, произведен анаеробним третманом, садржи растворљиве органске материје, што је погодно за даљу обраду аеробним третманом.

2.2.6. Аеробно - анаеробни процеси

Третман кућних отпадних вода се најчешће обавља анаеробно-аеробним процесима при чему се користе предности оба ова система. У поређењу са

конвенционалним аеробним технологијама, комбиновани аеробно-анаеробни системи троше мање енергије, производе мање муља и мање су комплексни у раду. Ниво азотног прилагођавања може се уградити у секвенционалне анаеробно-аеробне системе кроз делимичну рецикулацију од нитрификаног аеробног ефлуента до анаеробног реактора за денитрификацију, која ће се одржати са анаеробном дигестијом.

2.2.7. Методе пречишћавања отпадних вода

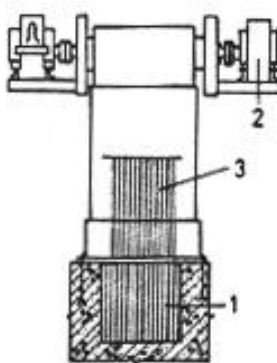
Коришћене методе при пречишћавању отпадних вода можемо да поделимо на: механичке, физичко-хемијске, хемијске, биохемијске и термичке. У већини случајева потребно је коришћење више метода узастопно.

Најчешће коришћене методе пречишћавања отпадних вода:

Мешање отпадне воде - На улаз у систем за пречишћавање отпадна вода може да долази из више извора. Поредно је да се та вода измеша да би се уједначио састав.

Мешање се врши тако што се отпадне воде улију у каду у којој су постављене цеви за продување ваздуха. Ваздушни мехури мешају течност и хомогенизују је.

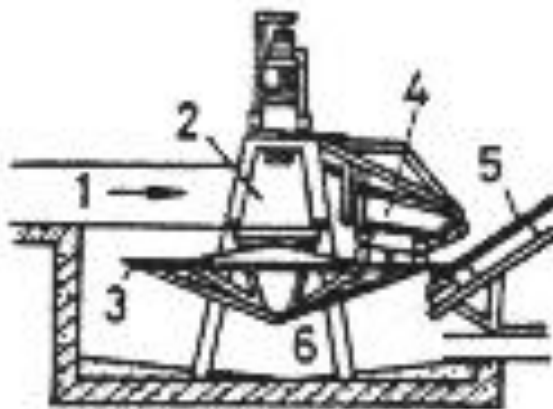
Грубо цеђење - Овим поступком из воде се уклајају крупни отпаци као што су: комади дрвета, камење и сл. За ово цеђење се користи решетка направљена од металних шипки које су вертикално поређане на међусобном растојању од 15-20 mm. Између шипки решетки крећу се зупци механичке грабуље ради уклањања задржаних отпадака. Главни циљ грубог цеђења је спречавање запушавања осталих отвора у уређајима за пречишћавање (слика 2.2). [6]



Слика 2.2. Вертикална решетка за грубо цеђење воде
1. решетка; 2. мотор; 3. грабуље[4]

Уклањање влакана из отпадних вода као што је текстилна индустрија врши се на следећи начин: отпадна вода долази кроз цев за улаз воде у добош. Из добоша се у

танком слоју распоређује на диск који се полако окреће и вибрира. Вода полако цури низ диск ка његовим ивицама где се налазе ситни отвори кроз које пролази у простор за одвод пречишћене воде. Влакна која се налазе у води задржавају се на диску. Са диска створени слој влакана се скида ножем за скидање и пребацује на покретну траку (слика 2.3).

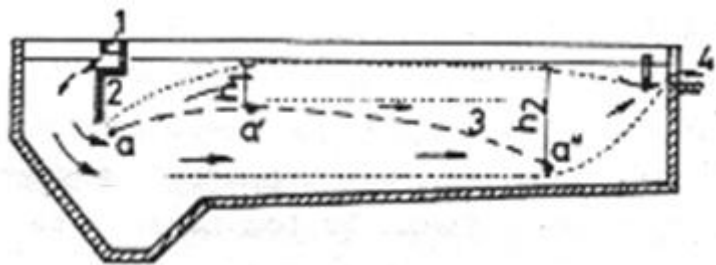


Слика 2.3. Уређај за одстрањивање влакана из отпадне воде

1. улаз воде; 2. добош за nanoшење воде на диск; 3. окретни вибрирајући диск; 4. нож за скидање влакана са диска; 5. транспортер; 6. канал за одвођење пречишћене воде [6]

При производњи целулозе и папира врши се и филтрирање воде. У суд филтера се на решетку ставља слој направљен од влакана целулозе (отпадних влакана). На мрежи филтера се на тај начин образује филтрациони слој који задржава влакна пропуштајући воду.

Одстрањивање чврстих честица таложењем (седиментацијом) - Овим поступком се уклањају честице нерастворних супстанци. Чврсте честице, које имају већу густину од течности у којој се налазе, падају на дно суда под дејством гравитације. На честице делују и молекули воде који се непрестано крећу.



Слика 2.4. Таложник

1. улаз отпадне воде; 2. усмеривач струјања; 3. путања кретања зрнаца у таложнику; 4. цев за излаз муља [6]

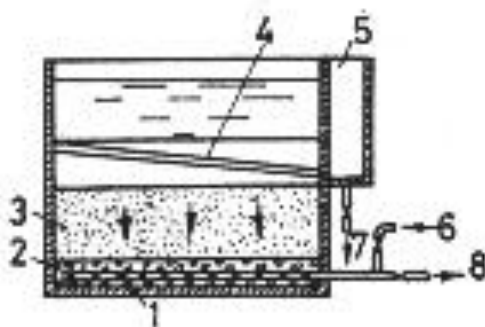
Вода кроз улазни отвор долази у таложник и пролази између зида таложника и усмеривача струјања. Непосредно иза усмеривача струјања вода се најнеравномерније креће, због чега долази до мешања воде и подизања честица чврстих супстанци. Силе трења лакше савладавају честице веће масе, па ће се због тога оне кретати већом брзином ка дну и пре ће се таложити. Лакше честице ће спорије падати и таложити се на већем растојању (слика 2.4). Муљ који је настао таложењем честица одводи се на депонију или, ако је чист песак, користи се за одређене намене.

Одстрањивање течности које се не мешају са водом - За раздвајање и уклањање масти, уља, нафте и других супстанци користи се исти тип таложника. Течности које су лакше од воде испливавају на површину и помоћу посебног скупљача одводе се из таложника.

Одвајање честица филтрацијом - Процес филтрације састоји се у томе да отпадна вода пролази кроз порозну средину која се налази у уређајима (филтрима). При пролазу кроз овај слој чврсте честице се задржавају на површини или у дубини порозног слоја, а из њега излази вода без чврстих честица. Филтрацију делимо на површинску филтрацију и филтрацију у дубини слоја.

За **површинску филтрацију** користе се мембране од пластике, стаклених влакана, метала и др. које садрже одређен број отвора по јединици површине. Микрофилтри задржавају честице величине 0,4-150 микрометара и то је микрофилтрација. Честице пречника 0,4-0,004 микрометара задржавају ултра-микрофилтри и то је ултра-микрофилтрација.

Филтри у којима се налази порозни слој врше **дубинску филтрацију**. На дну уређаја је материјал у крупнијим комадима, нпр. шљунак. У њему се налази цев са отворима. Изнад је слој песка одређене дебљине.

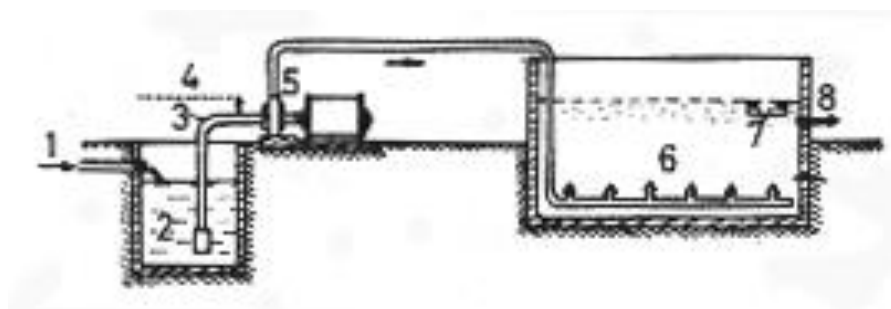


Слика 2.5. Филтер са порозним слојем

1. дренажна цев за одвод пречишћене воде;
2. дренажни слој;
3. слој песка или ситнозрнастог материјала;
4. уводник воде из улазне коморе;
5. улазна комора;
6. уводник воде за испирање филтра;
7. излаз воде за испирање;
8. излаз пречишћене воде

Непречишћена вода улази кроз улазну комору из које се кроз уводник излива изнад слоја за филтрацију. Прво пролази кроз слој песка и након тога вода долази у дренажни слој и дренажну цев и излази из филтера у одвод пречишћене воде (слика 2.5). Кроз уводник се уводи иста вода ради чишћења филтера.

Пречишћавање воде флотацијом - Уређај који се користи функционише на следећи начин. Непречишћена вода кроз улазну цев се улива у резервоар. Из резервоара се кроз усисну цев помоћу пумпе уводи у сатуратор. Ваздух под притиском који се истовремено убризгава у усисну цев омогућава да се у сатуратору одржава притисак од неколико атмосфера. Да би се довољна количина ваздуха растворила у води она се помоћу цеви испушта у флотациону комору. У овој комори услед нагле декомпресије ваздуха издвајају се мехурови ваздуха који са собом повлаче чврсте честице у пену на површину. Пречишћена вода се одводи на даљу обраду, а пена се помоћу уређаја за сакупљање одводи у посебан део (слика 2.6).

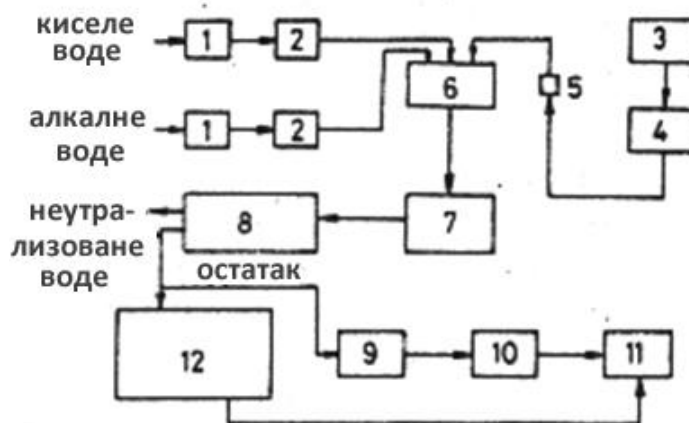


Слика 2.6 Уређај за пречишћавање вода флотацијом

1. цев за улаз отпадне воде; 2. резервоар; 3. усисна цев; 4. улаз ваздуха; 5. пумпа;
6. комора за флотацију; 7. скупљач пене; 8. одвод пречишћене воде

Неутрализација отпадних вода - Воде које садрже вишак киселина или база морају се пре слања на даљу обраду или пре испуштања у природне водотоке неутралисати. рН воде после неутрализације треба да буде у границама у којима се креће рН природних вода. За неутрализацију киселина користе се CaCO_3 , CaO , MgCO_3 , Ca(OH)_2 , NaOH . За неутрализацију база првенствено се користи CO_2 .

Воде које садрже киселине неутралишу се "филтрацијом" кроз порозан слој који садржи природне карбонатне материјале, као што су мермер и кречњак. Други начин неутрализације киселих вода састоји се у уношењу одређених количина средстава за неутрализацију у одређену запремину воде.



Слика 2.7. Систем за неутрализацију отпадних вода

1. таложници; 2. хомогенизатори; 3. складиште реактива; 4. припрема реактива; 5. дозатор; 6. уређај за мешање; 7. неутрализатор; 8. таложник; 9. згушњавање муља; 10. вакуум филтрација; 11. депонија осушеног муља; 12. поље за сушење муља

После грубе филтрације у таложницима се одвајају песак и друге грубе честице, а потом се врши хомогенизација воде. Потребни раствори или смеше у одговарајућим резервоарима се праве од ускладиштених средстава за неутрализацију. Из резервоара дозатор, преко уређаја за мешање, улива потребну количину реагенса у неутрализатор (слика 2.7). После неутрализације вода се у таложнику ослобађа од чврстих честица и одлази као неутрализована.[6]

Неутрализација алкалних отпадних вода врши се по истом поступку као и за киселине, само што се као реагенси користе раствори киселина.

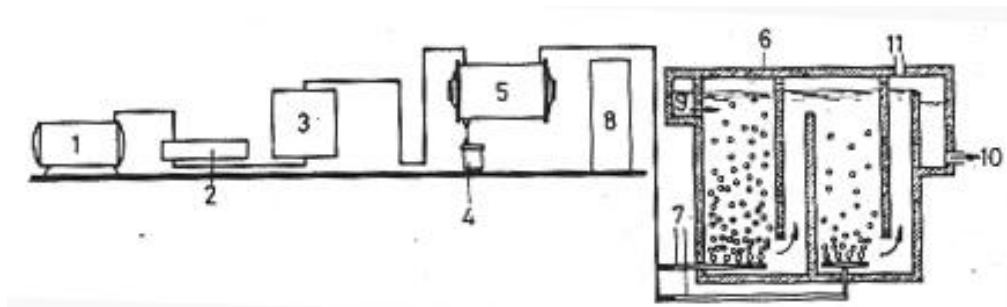
Хемијска преципитација - Заснива се на дејству одговарајућег реактива додатог у отпадну воду који врши издвајање појединих супстанци у виду тешко растворних једињења. Процесом хемијске преципитације одвајају се тешки метали из отпадне воде, као нпр. бакар, кадмијум, хром, никл. У случају да се ови елементи у води налазе као јони, они се таложењем у виду тешко растворних хидроксида издвајају из отпадне воде.

Коагулација и флокулација - Методом **коагулације** првенствено се пречишћавају воде од колоидно диспергованих честица. Свака колоидна честица има одређено наелектрисање. Да би се колоидне честице исталожиле потребно је да се наелектрисање неутралише. До коагулације, односно, до њиховог укрупњавања у веће агломерације, долази када је наелектрисање неутрализовано. Коагулацију изазива додавање коагуланата.

Флокулација је посебан начин "укрупњавања" колоидних честица. Врши се помоћу макромолекула (целулоза, скроб) или једињења која су у раствору полимеризована. Флокуланти се везују за две или више колоидних честица што доводи до укрупњавања ових агломерација.

Редукција оксидационих агенаса - Оксидациони агенси који су присутни у отпадним водама имају јако неповољно деловање. За редукцију оксидационих агенаса најчешће се користи Na_2SO_3 и NaHSO_3 (Na-сулфат и Na-бисулфат). У основи процеса је мешање загађене воде са раствором редукционих агенаса за шта се користе уређаји за мешање течности са аутоматском регулацијом дозирања редукционих агенаса.

Оксидација хемијским агенсима - Оксидацијом се загађивачи преведу у мање токсичне агенсе или се потпуно разграде. Дезинфекција воде, односно, уништавање микроорганизама се постиже оксидацијом. Од оксидационих агенаса најчешће се користе хлор, хлордиоксид (ClO_2), Na-хипохлорит (NaClO), озон (O_3). Важно је да током оксидације не настају споредни продукти које такође треба уклањати. Од оксидационих средстава највише се употребљава хлор. У алкалној средини деловањем хлора може да се уклони натријум и цијанид. Хлор са појединим супстанцама гради хлорована једињења која су токсична, па је то негативна страна примене хлора.



Слика 2.8. Уређај за пречишћавање воде озоном

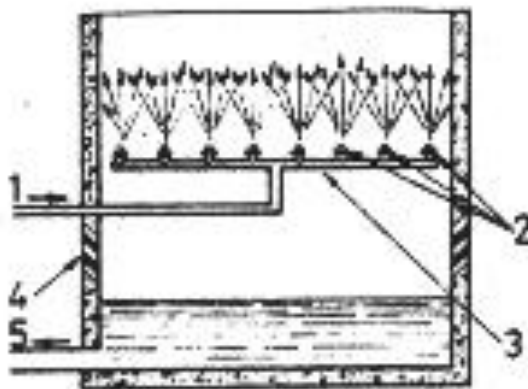
1. компресор са резервоаром ваздуха; 2. хладњак ваздуха; 3. сушење ваздуха;
4. трансформатор; 5. озонизатор; 6. торњ за озонирање воде; 7. цеви за увођење озона у воду; 8. командна табла; 9. улаз воде у торњ, 10. излаз пречишћене воде;
11. излаз гасова

Озон, као најјаче оксидационо средство, не даје споредне реакције. Нестабилан је, па се производи на месту примене у озонизаторима. Из озонизатора настали озон уводи се у торњ са водом за пречишћавање (слика 2.8). Неутрошени озон брзо се разграђује у води.

Аерација воде - Овај метод пречишћавања састоји се у превођењу ваздуха кроз воду или распршивањем воде у ситне капи. Циљеви аерације су:

1. повећава се садржај кисеоника и убрзава се његово растварање води и
2. из воде се уклањају све оне гасовите супстанце које нису присутне у ваздуху.

Повећање укупног садржаја кисеоника при аерацији и убрзавање растварања кисеоника у води заснива се на томе да се повећа површина воде која је у додиру са ваздухом.

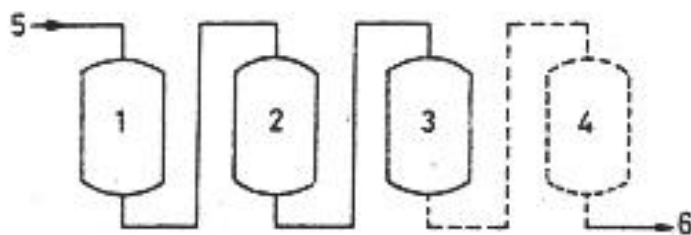


Слика 2.9. Уређај за аерацију воде

1. улаз отпадне воде; 2. дизне за распршавање; 3. систем разводних цеви; 4. отвори за улаз ваздуха; 5. излаз воде после аерације

Основни циљ при конструкцији уређаја је да се створи што већи број ситнијих мехура ваздуха у води или да се створи што већи број ситних капљица воде у ваздуху. Вода која се подвргава аерацији долази под притиском у систем цеви са дизнама из којих се у виду ситних капи распршава у ваздух. Изнад базена у коме се сакупља распршена вода постављене су цеви са дизнама (слика 2.9).

Адсорпција - Адсорпцијом се врши уклањање релативно малих количина загађујућих агенаса који другим поступцима не могу да се уклоне или изазивају штетне ефекте. Овом методом се уклањају високо токсичне супстанце и агенси који утичу на мирис и укус воде. При адсорпцији долази до нагомилавања токсичне супстанце из раствора на површину адсорбенса (чврстог тела) који је у додиру са раствором. Једна количина адсорбенса може да адсорбује једну количину супстанције, јер се површина адсорбента засити том количином супстанције. Потребно је да адсорбенс буде у зрнцима или да је сунђераст. Зрнца адсорбенса треба да имају што више шупљина у себи, чиме ће и површина адсорбенса бити већа. Активни угаљ има површину од 1000-1500 m^2/g . Постоје два начина пречишћавања отпадних вода адсорбенсима. Први је да се адсорбенс додаје у воду из правца супротног кретању воде. Вода на уласку у торањ за пречишћавање долази у контакт са адсорбенсом на коме је адсорбована одређена количина супстанце која се треба уклонити. Крећући се даље вода долази у контакт са адсорбенсом на коме има све мање и мање адсорбоване супстанце, да би на крају торња дошла у контакт са чистим адсорбенсом.

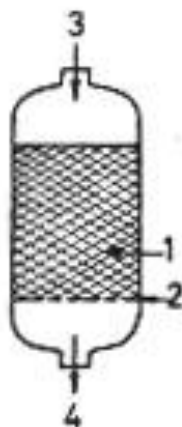


Слика 2.10. Процес пречишћавања воде на активном угљу
1., 2. и 3. су редни бројеви торњева у процесу; 4. торањ на регенерацији; 5. улаз воде за пречишћавање; 6. излаз пречишћене воде [6]

Код другог начина загађена вода улази у први торањ где ступа у контакт са активним угљем. У другом торњу се уклања део преосталих супстанција. У трећем торњу се максимално ослобађа присутних загађивача. За то време торањ бр.4 је на регенерацији адсорбенса, (слика 2.10).

Јонска измена - За пречишћавање воде од електролита, тј. супстанција које у воденом раствору дисоцијују, користи се метода јонске измене. Ова метода служи за отклањање ниских концентрација јона који представљају изразито штетне загађиваче. Такође се користи и за добијање воде ослобођене од минералих соли, тј. меке воде. Јонска измена се заснива на способности супстанција, јоноизмењивача, да измењују своје катјоне и анјоне са катјонима или анјонима из раствора. Јоноизмењивачи су органски макромолекули који садрже јоногену групу. Постоје и такви јоноизмењивачи који могу истовремено да врше измену обе врсте јона, односно имају и катјонско-измењивачку и анјонско-измењивачку групу у истом молекулу.

Да би се са јоноизмењивача десорбовао (истиснуо) јон који је на њему везан јачим силама и заменио јоном који се у јоноизмењивачу везује слабијим силама, на јоноизмењивач се делује раствором у коме је концентрација јона мањег афинитета веома велика или се на јоноизмењивач делује раствором у коме се налазе супстанције које са везаним јоном у јоноизмењивачу граде стабилна комплексна једињења.



Слика 2.11. Торањ за пречишћавање воде јонском изменом
1. јоноизмењивач; 2. носач; 3. улаз отпадне воде; 4. излаз пречишћене воде [2]

Торњеви за пречишћавање садрже стационарну фазу коју сачињава јоноизмењивач који је направљен тако да сачињава порозан слој кроз који вода може да се креће. Вода за пречишћавање долази одозго, пролази кроз јоноизмењивач где се пречисти, а затим из доњег дела торња излази пречишћена (слика 2.11).

Инверзна осмоза- Коришћење процеса осмозе је основа ове методе. До осмозе долази када су растварач (чиста вода) и раствор (непречишћена вода) у контакту преко полупропустљиве мембране која дозвољава пролаз молекула воде. Ако се на непречишћену воду делује притиском који је виши од осмотског, молекули воде ће из простора са непречишћеном водом да прелазе у простор са чистом водом, док ће молекули или јони у њему остати.[6]

3.0. МЕМБРАНСКИ СИСТЕМИ У ПРОЦЕСУ ТРЕТМАНА ВОДЕ ЗА ПИЋЕ

Вода је неопходна сировина у индустријској производњи, енергетици, прехранбеној индустрији, за комуналне потребе и друго. Највише захтеве за чистоћу воде постављају прехранбена индустрија (производња пива, сокова) као и комунални системи за снабдевање грађана пијаћом водом. Зато су од великог значаја сви процеси обраде сирове воде којим се уклањају чврсте суспендоване, органске и неорганске хемијске компоненте, бактерије и хемикалије које дају лош укус и мирис. Због високе цене обраде сирове воде, погодне технологије се морају комбиновати на најбољи начин како би се успоставила равнотежа између цене и добијеног квалитета воде.

3.1. Мембрански процеси

Мембрански процеси се, на основу покретачке енергије која је потребна за оптимално одвијање процеса филтрације, могу поделити на:

- процесе који захтевају примену притиска као што су микрофилтрација, ултрафилтрација, нанофилтрација, реверзна осмоза и сепарација гасова или процесе у којима се делимично користи притисак, као што је мембранска метода раздвајања мешавине течности процесом делимичног испаравања кроз непорозну или порозну мембрану,
- процесе који се покрећу разликом концентрација уз одржавање константног градијента концентрације – дијализа,
- термичке процесе – мембранска дестилација,
- процесе на бази електричног потенцијала – електродијализа.

Параметар који се односи на својства одвајања мембране је "граница пропустљивости". Појам "граница пропустљивости" се односи на молекулску масу најмањих молекула који се задржава на полеђини мембране.

Микрофилтрација (МФ) - За микрофилтрацију "граница пропустљивости" је између 300.000 и 1.000.000. Овим процесом се одвајају једињења са величином честица мањом од 0,2 μm . Притисак који се обично примењује је у опсегу 0,1 – 0,5 МПа.

Ултрафилтрација (УФ) - За ову методу се користе мембране са "границом пропустљивости" између 500 и 300.000. Овим процесом се одвајају једињења у опсегу 0,001 – 0,1 μm . То захтева радни притисак од 0,2 до 1,5 МПа.

Нанофилтрација (НФ) - Ова метода представља одвајање помоћу мембрана које су по карактеристикама између ултрафилтрације и реверсне осмозе. Захтевани радни притисак за ове мембране је између 2 и 4 МПа и дају виши проток него мембране код реверсне

осмозе, али са друге стране наномембране имају мању способност одвајања него мембране реверсне осмозе.

Реверсна осмоза (РО) – Ова метода користи мембране са најмањом пропустљивости. Мембране овог типа имају "границу пропустљивости" мању од 500, што значи да захтевају већи притисак, обично између 2 и 8 МПа. Мембране код реверсне осмозе имају способност раздвајања јона и молекула мањих од 0.001 μm .

Сепарација гасова је процес којим се помоћу порозне или непорозне мембране раздвајају паре и гасови процесима растворљивости и дифузије кроз мембрану.

Дијализа представља дифузију растворених супстанци кроз полупропусну РО мембрану.

Филтрација воде- различите методе								
Микрона:	0.0001	0.001	0.01	0.1	1.0	10	100	1000
Примери	Јони Метала	Минералне Соли	Колоидни Вируси	Бактерије		Полен	Ситан	Песак
Технике Филтрације:								
								Груба механичка филтрација
								Микрофилтрација
								Ултрафилтрација
								Нанофилтрација
								Хиперфилтрација – <u>реверзна осмоза</u>

Табела 4. Присуство типичних нечистоћа, од крупних честица, какав је песак до растворених соли. Методе које се користе за уклањање су условљене физичким величинама нечистоћа[7]

Мембранска дестилација је процес код којег хидрофобна мембрана представља баријеру за течну фазу док дозвољава пролазак паре.

Електродијализа је процес транспорта јона кроз јоноизмењивачку мембрану.[7]

3.2. Мембрански модули

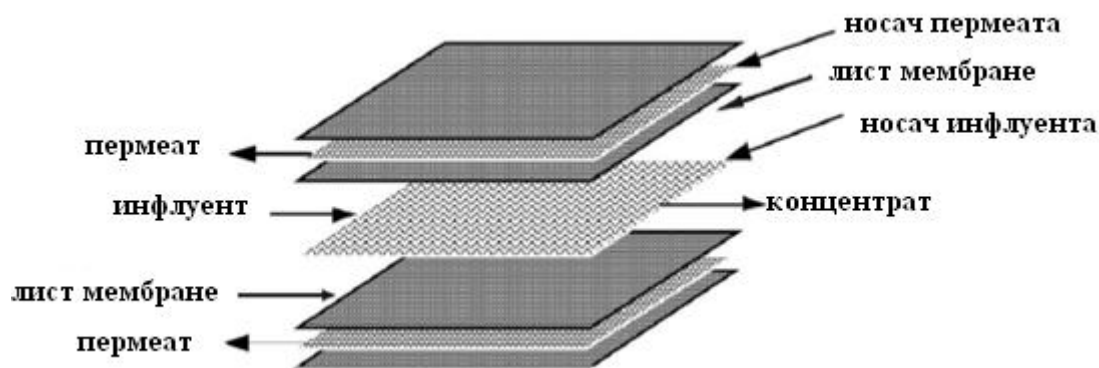
У зависности од области примене мембранског процеса и врсте медијума који се третира развијани су различити типови мембранских модула како би карактеристике примењеног мембранског процеса биле у потпуности искоришћене. Под појмом мембрански модул се подразумевају кућиште мембране и мембрана.

Постоји пет основних типова мембранских модула:

1. Плочасти модули,
2. Спирално увијени модули,
3. Тубуларни модули,
4. Капиларни модули и
5. Мембрански модули са шупљим влакнима [7]

3.2.1. Плочасти мембрански модули

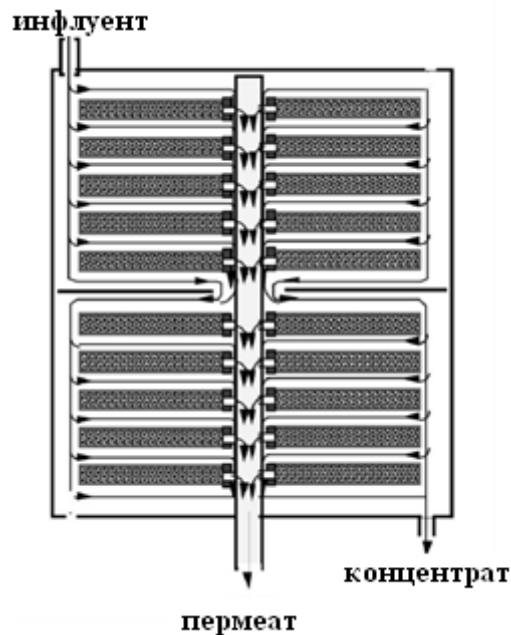
Плочасти модули су најранији типови мембранских система. Плочасти дизајн је предложио Стерн, приликом пројектовања првог постројења за издвајање хелијума из природног гаса. Између две граничне плоче су позиционирани лист мембране, носач инфлуента и носач пермеата (слика 3.1). Све ово се налази у кућишту као што је приказано на (слици 3.2).



Слика 3.1. Конструктивни слојеви плочасте мембране

Инфлуент под притиском улази у кућиште и долази у додир са мембранама. Пречишћена вода - пермеат се сакупља у централној цеви за одвођење

пермеата, а отпадна вода - концентрат се посебним цевоводом односи се из система. Постављањем преграда унутар кућишта, између мембрана, се повећава контактна површина воде и мембрана.



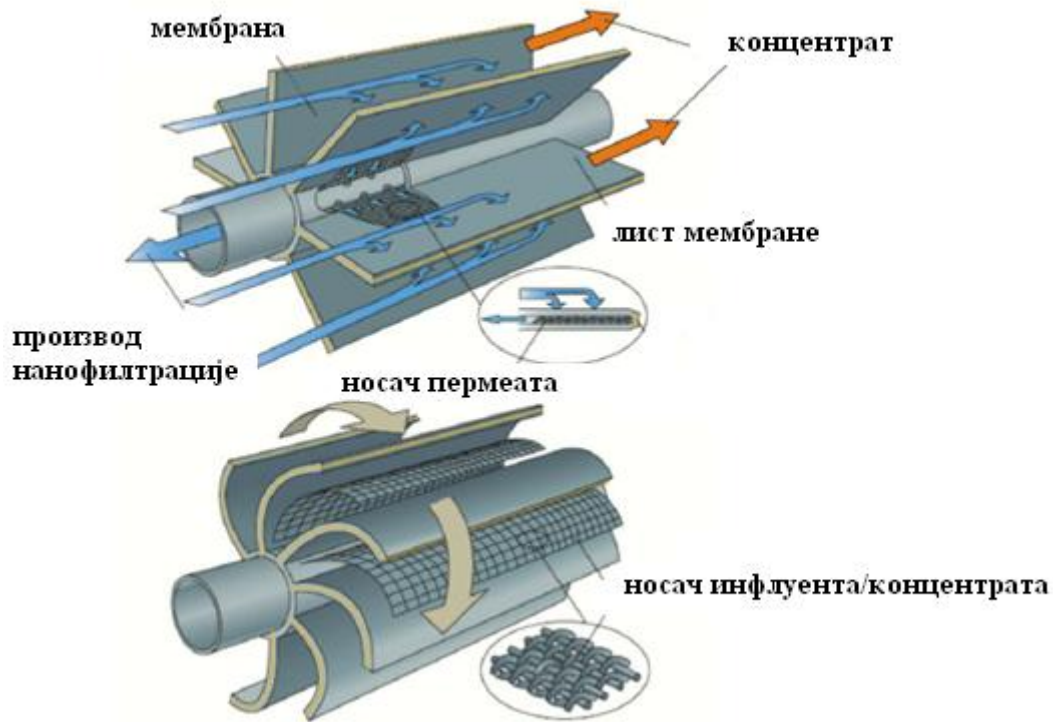
Слика 3.2. Шематски приказ плочастог модула са једном преградом

Комерцијално су у употреби неколико типова плочастих модула. Код већине типова плочастих модула мембране се могу лако заменити, што чини овај тип модула погодним за непроточне системе. Плочасти тип модула није економски исплатив. Изузетак је уређај за електродијализу у облику снопа, плочасти модул који се састоји од јоноизмењивачких анјонских и катјонских мембрана које су позициониране наизменичним редоследом унутар кућишта. Могу се користити у разноврсним индустријама употребом мембрана различитих селективних особина. Најчешћа примена плочастих модула је у фармацеутској и хемијској индустрији. Кућиште и остале компоненте плочастог модула који се користе у фармацеутској индустрији израђене су од нерђајућег челика као би се постигла успешна стерилизација. Користе се и у процесима раздвајања мешавине течности процесом делимичног испаравања и у одређеним процесима реверсне осмозе и ултрафилтрације инфлуента који садржи високу концентрацију супстанци које могу изазвати таложење наслага на мембранама [8].

3.2.2. Спирално увијени мембрански модули

Спирално увијени мембрански модули представљају варијацију плочастих модула (слика 3.3). Спирално увијена мембрана је плочаста мембрана која је спирално увијена око централне перфориране цеви. Једна мембранска плоча се састоји од два мембранска листа који су постављени тако да су полеђине листова окренуте једна ка

другој, а раздвојене су носачем пермеата. Слојеви плоче су залепљени дуж три ивице, а четврта, незалепљена страна је причвршћена на централну цев. Једна спирално увијена мембрана пречника 203,2 mm може садржати и до 20 плоча које су растављене пластичном мрежом, носачем инфлуента која служи за довод воденог раствора на листове мембране.



Слика 3.3. Делови спирално увијеног мембранског елемента

Цев за сакупљање пермеата, или централна цев је у центру мембранског елемента око које су увијени листови мембране, носач пермеата и носач инфлуента. Цев има перфорирану структуру која обезбеђује уливање пермеата у простор цеви. Цев за сакупљање пермеата обезбеђује чврстину и резистенцију мембране према механичким утицајима околине.

Носач пермеата је мрежаста плоча материјала који је позициониран између пољеђина мембранских листова, а намењен је за сакупљање и одвођење пермеата до цеви за сакупљање пермеата. Носач пермеата се израђује од материјала који подноси високе притиске, обзиром на то да је ток концентрата под притиском који износи око 90% улазног притиска инфлуента. За производњу носача пермеата се за ниске радне притиске користи полиетарски уплетени материјал. Спирално увијени мембрански модули функционишу по принципу тангенцијале филтрације. Код процеса тангенцијалне филтрације (слика 3.4) инфлуент улази паралелно са централном цевом у канале носача инфлуента постављене на крају спирално увијеног елемента. Улазна вода протиче кроз носаче, а већа запремина воде се пропушта кроз слојеве мембране и одводи до носача пермеата. Пермеат се у носачу креће спиралном путањом око

мембранског елемента до централне цеви. Растворене супстанце у преосталој мањој запремини воде које не могу да прођу кроз поре полупропусне мембране, протичу преко површине мембране. Концентрат садржи велику количину растворених материја и излази из мембранског елемента паралелно са централном цевом на супротној страни од уласка инфлуента у мембрану.

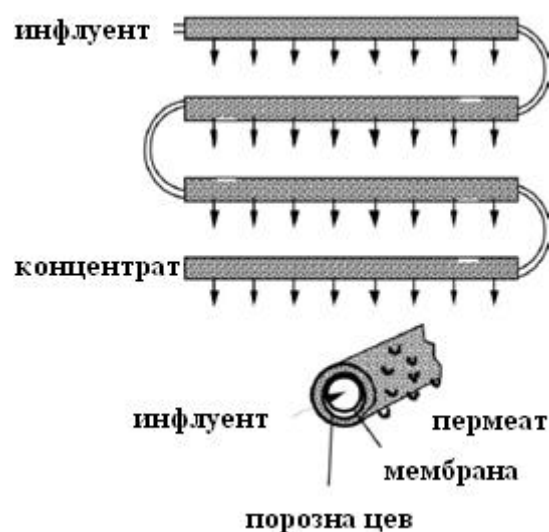


Слика 3.4. Спирално увијене мембране

Комерцијалне спирално увијене мембране за третман пијаће воде су доступне у великом дијапазону величина. Стандардне величине за пречник и дужину су 101,6 mm и 203,2 mm; 1016 mm и 1524 mm, али се по потреби могу производити и мембрански елементи других димензија. У неким непроточним (лабораторијским системима) и пилот постројењима (постројењима малог капацитета) се користе мембране пречника 63,5 mm, а у постројењима великог капацитета мембране пречника и до 406,4 mm.[8]

3.2.3. Тубуларни мембрански модули

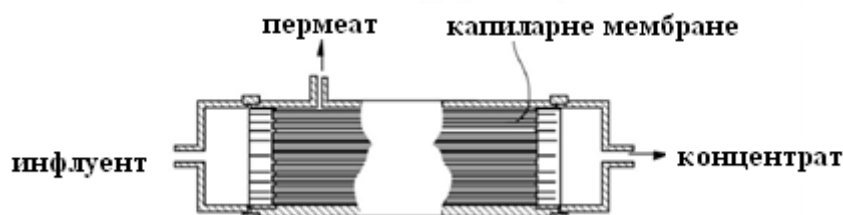
Тубуларне мембране се састоје од снопа цевчица пречника 5 – 15 mm чији унутрашњи слој има селективне особине. Спољна страна цевчице је сачињена од порозног материјала. У кућиште се обично поставља 10 до 30 засебних цевчица. Инфлуент се под притиском доводи у мембранске цевчице, а пермеат се сакупља унутар кућишта (слика 3.5). Тубуларне мембране се користе за процесе на ниском притиску, око 4 bar. Због великог пречника цевчица, тешко се зачепљују. Недостатак тубуларних мембрана су мала мембранска површина по јединици запремине и високи трошкови. Погодне су за филтрацију инфлуента који садржи високу концентрацију растворених материја и велику вискозност. Тубуларне мембране су се раније користиле као предтретман у процесу реверсне осмозе морске воде и за третман отпадне индустријске воде. У скорије време се користе за раздвајање мешавине течности процесом делимичног испаравања кроз мембрану и ултрафилтрацију отпадних вода [1].



Слика 3.5. Шематски приказ процеса филтрације тубуларне мембране

3.2.4. Капиларни мембрански модули

Капиларни мембрански модули се састоје од великог броја мембранских капиlara са унутрашњим пречником од 0,5 – 5 mm поређаних у снопу и позиционираних у спољну цев, као што је приказано на слици 3.6. Инфлуент улази у капиларе, пермеат се сакупља у спољашњој цеви, а концентрат излази из система супротно од улаза инфлуента.



Слика 3.6. Шематски приказ капиларног мембранског модула

Код капиларног мембранског модула, најбоље је користити мембране које имају асиметричну структуру и селективни слој на унутрашњој страни капиlara. Капиларни мембрански модули имају велику површину по јединици запремине. Трошкови производње су ниски, а таложење наслага на мембранама се може контролисати подешавањем одговарајућег улазног протока и противструјним прањем пермеатом у одређеним временским интервалима. Оптималан радни притисак капиларних мембрана

је од 4 – 6 bar. Капиларне мембране користе се у процесима дијализе, микрофилтрације и ултрафилтрације на ниском притиску [8].

3.2.5. Мембрански модули са шупљим влакнима

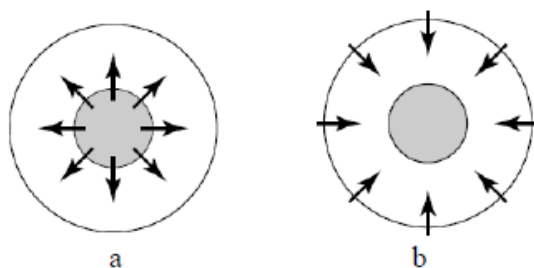
Мембрански модули са шупљим влакнима се састоје од дугих и уских цевчица које могу бити произведене од готово свих мембранских материјала. Уобичајени начин повезивања шупљих влакана је уздужно повезивање. На овако повезана влакна се на оба краја поставља епокси смола, а потом се влакна смештају у кућиште које представља саставни део модула са шупљим влакнима. Ови модули се обично постављају вертикално, мада могу бити постављени и хоризонтално, у зависности од потребе. У другој конфигурацији модула са шупљим влакнима влакна су одвојена од кућишта и инсталирају се посебно. Ова конфигурација се инсталира хоризонтално. У трећој конфигурацији се шупља влакна вертикално потапају у базен, где не постоји кућиште, већ када у коју се постављају влакна. Типични комерцијални модули са шупљим влакнима се могу састојати и од више од 10.000 влакана. Радни притисак модула са шупљим влакнима може бити и до 100bar. Иако димензије влакана варирају у зависности од произвођача, неки стандардни параметри шупљих влакана су:

- Спољашњи пречник: 0,5 – 2,0 mm
- Унутрашњи пречник: 0,3 – 1,0 mm
- Дебљина зида влакна: 0,1 – 0,6 mm
- Дужина влакна: 1 – 2

Модули са шупљим влакнима могу радити по принципу:

- унутра-споља,
- споља-унутра.

Код унутра-споља режима (слика 3.7-а) инфлуент улази у средиште влакна и филтрира се радијално кроз зид влакна, а пермеат се сакупља са спољашње стране зида. Код споља-унутра режима (слика 3.7-б) инфлуент улази у влакно са спољашње стране зида, а пермеат се сакупља у средини влакна. Проток воде у унутра-споља режиму је константан што је погодно ако систем ради под тангенцијалним хидрауличким режимом, али је тада могућност запушења унутрашњости влакана већа. Код споља-унутра режима могућност запушења влакана је знатно мања.



Слика 3.7. Шематски приказ смера протока флуида кроз зидове шупљих влакана

Мембране са шупљим влакнима имају највећу површину по јединици запремине од свих врста мембрана доступних на тржишту. На мембранска влакна неповољно утичу растворене честице и макромолекули који се могу наталожити на порама. У процесима прераде воде за пиће већина мембранских модула са шупљим влакнима су микрофилтрационе или ултрафилтрационе финоће [8].

3.3. Накнадни поступци пречишћавања

3.3.1. Дезинфекција – физичке методе

Дезинфекцијом се обезбеђује да вода за потребе производње не садржи штетне микроорганизме. За разлику од стерилизације, чији је циљ да се униште сви микроорганизми, дезинфекција се користи за уништавање патогених микроорганизама. Различите методе дезинфекције могу бити подељене у две групе: физичке и хемијске.

Користе се три различита физичка принципа за дезинфекцију улазне воде:

- загревање,
- микрофилтрација,
- радијација.

3.3.1.1. Дезинфекција загревањем

Вода се загрева као би се уништили микроорганизми (на 100°C већина ће бити уништена). Мада се већи део енергије може рекуперисати употребом измењивача топлоте, потрошња енергије је велика у поређењу са другим процесима. Додатни проблем се може јавити због присуства других контаминирајућих материја које показују нежељене промене при загревању. Споре неће бити уништене загревањем. Ако се захтева стерилизација мора се изводити на 120 °C.

3.3.1.2. Микрофилтрација

Микрофилтрација се користи за одвајање микроорганизама од улазне воде. Вода пролази кроз мембрану док се на њој микроорганизми задржавају. Споре могу проћи кроз мембране величине пора $0.45\ \mu\text{m}$, али ће и оне бити задржане на мембрани са порима од $0,2\ \mu\text{m}$.

3.3.1.3. Зрачење

Зрачење се може применити за дезинфекцију воде. Поред радиоактивног зрачења УВ светло садржи довољно енергије за дезинфекцију. У принципу уништава ДНА молекуле и тако даје одличне резултате против бактерија и гљивица. Опрема се састоји од цеви за пражњење живиних пара, уз напајање струјом високог напона, постављене у плашт од нерђајућег челика у коме се врши обрада воде док струји. УВ сензор је лоциран на зиду плашта детектујући УВ зрачење и у најудаљенијем месту у цеви, чиме се омогућава регистровање било каквог нарушавања радних карактеристика. Пример за то би била разградња нечистоћа са цеви.

Модерне конструкције укључују механичке брисаче како би се превазишао и проблем запрљаности површина цеви. Методе физичке дезинфекције немају трајни утицај, зато је важно да опрема која долази у контакт са пречишћеном водом не буде контаминирана.

4.0. МЕМБРАНСКИ СИСТЕМИ У ПРОЦЕСУ ТРЕТМАНА ОТПАДНИХ ВОДА

Једна од новијих технологија које налазе ширу примену су мембрански процеси. Ови процеси се већ неколико деценија користе за десалинизацију морских вода, а од раних осамдесетих и за уклањање суспендованих и растворених материја из подземних и површинских вода. Ефикасност и поузданост и релативно ниски експлоатациони трошкови пречишћавања утицали су на масовнију примену мембранских система.

4.1. Класификација мембранских процеса

4.1.1 Мембрански модули

Мембрана је танак полупропусни филм који омогућава издвајање одређених компоненти из течне фазе раствора јер делује као селективна баријера за трансфер суспендованих и растворених материја. Која ће материја бити пропуштена, а која неће зависи од физичко-хемијских карактеристика те материје и од димензија пора и електро-хемијских својстава мембране. Важно је уочити да мембрана није пасивна већ функционална баријера трансферу растворених супстанци чија пропусност зависи од физичко-хемијских интеракција између мембране и растворених материја.[7]



Слика 4.1. Мембранска јединица[8]

Основна мембранска јединица у којој је смештена одређена површина мембранског платна и која је припремљена за уградњу у већу компоненту мембранског система је мембрански елемент или модул, (слика 4.1). Један мембрански елемент састоји се од мембранског платна (мембране), конструктивног елемента који прима притиске и обезбеђује ослањање мембранског платна, спојнице за прикључак сирове воде, испуста

за концентрат и одвода пречишћене воде. Постоје четири врсте мембранских елемената (модула): плочасти модул, цевни модул, модил са шупљим влакнима и спирално намотани модул, (слика4.2).[8]

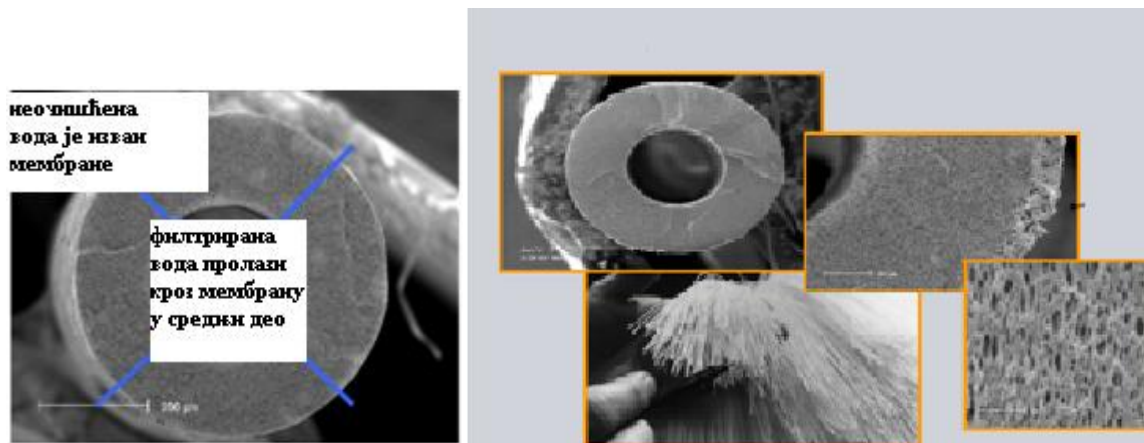


Слика 4.2.Спирално намотани мембрански модул[8]

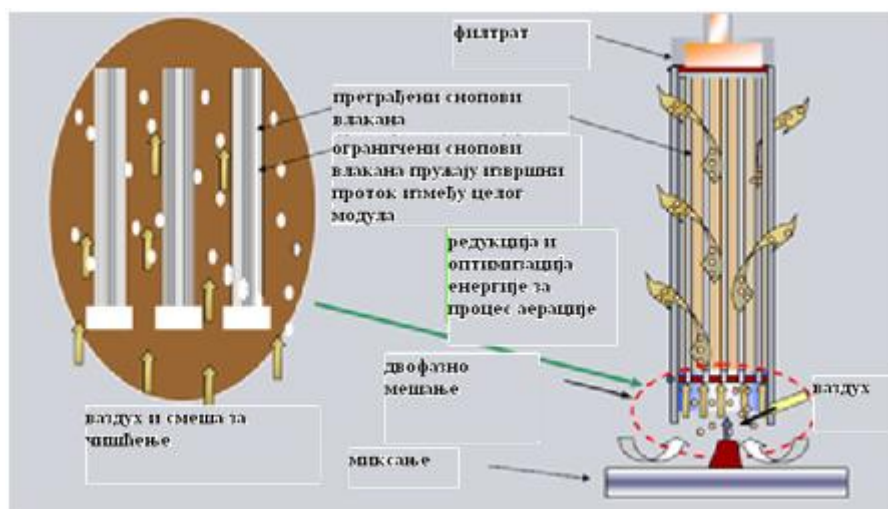
Употреба мембрана заузела је последњих неколико деценија врло важно место у технологији третманаводе и данас се употребљава за велики број процеса обраде воде. Важно је напоменути да се при мембранским филтрацијама у правилу водени медиј раздваја на два дела: пермеат или део који је прошао кроз мембрану и концентрат, односно део воде у којем заостају концентроване отопљене материје.

Сам принцип мембранске филтрације је врло једноставан.Мембрана представља баријеру која има способност селективног пропуштања честица.Одвајање честица одвија се због њихове међусобне разлике у величини, облику или хемијској структури због којих мембрана једне пропушта, а друге не.

Филтрација се може извести тако да сва вода прође кроз кроз мембрану (слика 4.3). Код овог начина вода се доводи на мембрану под правим углом, сва вода пролази кроз мембрану, при филтрацији се ствара наслага филтрираног материјала која се назива филтрацијски колач, а зачепљена мембрана се након одређеног времена чисти од наталожених нечистоћа, или баца, (слика 4.4).[8]



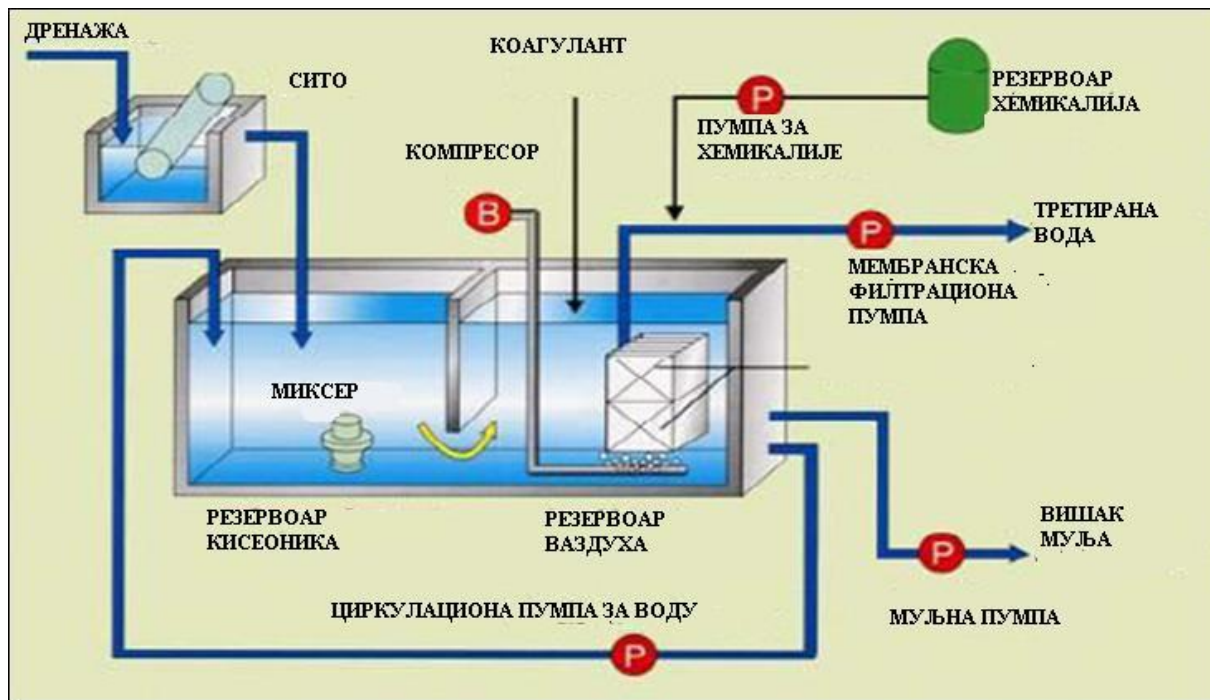
Слика 4.3. Филтрација – шупљина влакана



Слика 4.4. Систем чишћења и мешања[8]

4.2. Мембрански биореактори

МБР настају комбинацијом конвенционалног активног муља и процеса филтрације кроз полупропусне мембране. Коришћењем овог система може се гарантовати, поред већег излаза у односу на традиционалне системе, готово потпуно уклањање суспендованих материја и бактеријског загађења, такође, и изузетно стабилан процес без потребе за константном провером карактеристика биофлокулације и седиментације муља. Оптимална и ефикасна филтрација у мембранама дозвољава рад са концентрацијом муља готово четири пута већом од нормалне вредности, са знатно наглашеним капацитетом пречишћавања система, (слика 4.5).[7]



Слика 4.5. Мембрански биореактор [7]

Најважније предности коришћења МБР реактора су:

- Смањење укупних димензија уређаја за пречишћавање и смањени трошкови за грађевинске радове.
- Чистоћа воде знатно је већа од сваког другог система тако да је наглашен квалитет ефлуента.
- Мања количина тешко биодјеграбилних супстанци које се задржавају до потпуне елиминације.
- Нема проблема повезаних са капацитетом седиментације муља пошто не постоји потреба за декантационом фазом, према томе, искључена је могућност великих количина влакнастих бактерија.
- Идеално решење изградње и унапређења постојећих традиционалних постројења.
- Савршене катактеристике, контрола производње и старости муља.
- Смањена производња површинског муља.

Овакви реактори омогућавају комплетно задржавање биомасе уз помоћ мембране. Одвајање биомасе од воде одвија се у току денитрификационог процеса. Уместо одвајања након биолошког процеса, на овај начин је контакт биомасе и воде у потпуности избегнут и ризик од контаминације значајно смањен.

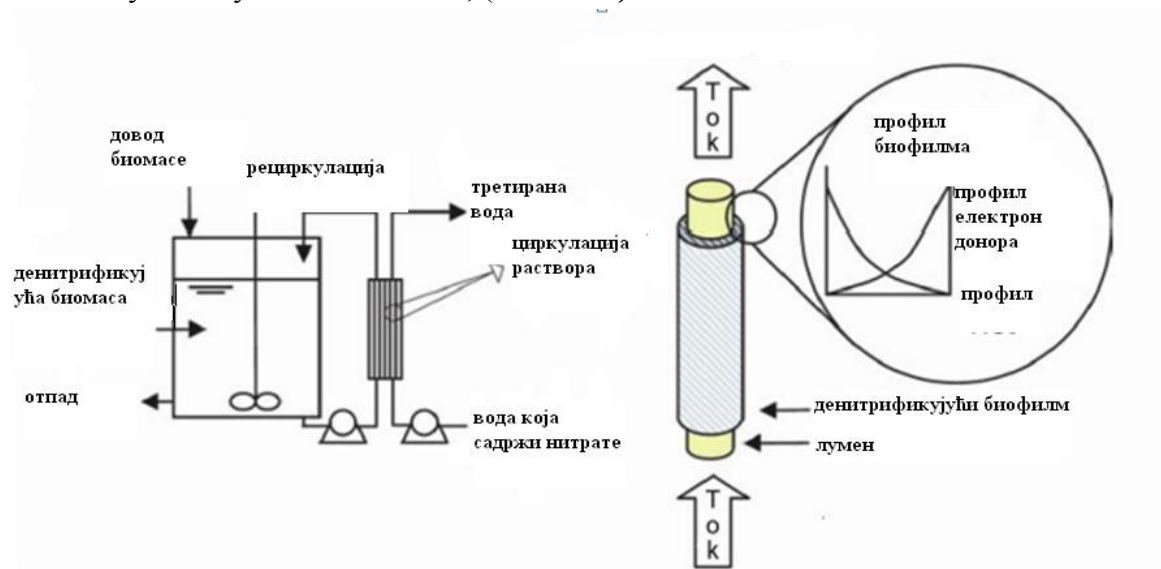
Подела мембранских биореактора може се извршити на:

- Екстрактивни МБР,
- МБР са јонском изменом,
- МБР са трансфером гаса,

- МБР под притиском,
- МБР под притиском са трансфером гаса.

4.2.1 Екстрактивни мембрански биореактор

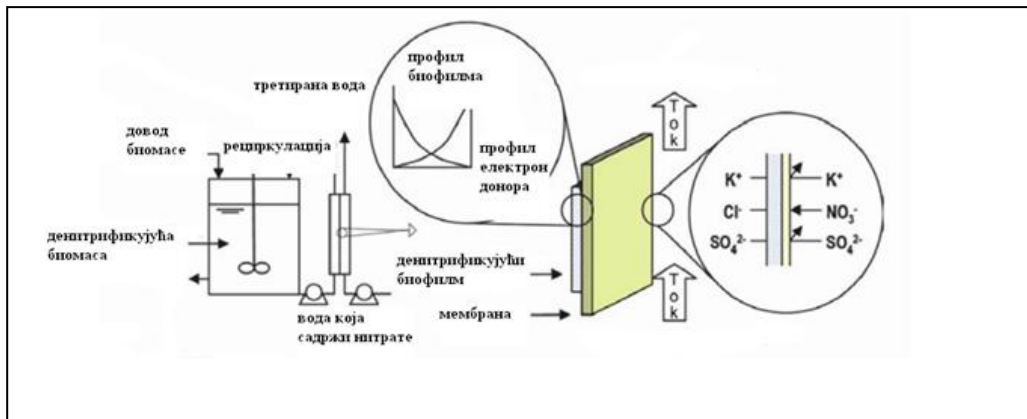
Нитрати се екстрахују из сирове воде молекулском дифузијом преко физичке баријере у раствор који садржиденитрификујућу биомасу. Испитивани су различити материјали за ефикасно одвајање воде од биофилма. Мембране у овом реактору могу бити или у облику плоча или цеви, (слика 4.6).



Слика 4.6. Екстрактивни мембрански биореактор

4.2.2 Мембрански биореактор са јонском изменом

Мембрански биореактор са јонском изменом (слика 4.7), је идентичан екстрактивном мембранском процесу, осим што је микропорозна мембранска технологија замењена са густом јоно-измењивачком мембраном. Предност ове технологије је у томе што непорозна мембрана олакшава селективнију екстракцију нитрата из сирове воде и спречава транспорт органских и неорганских контаминаната присутних у биомедијуму. [7]

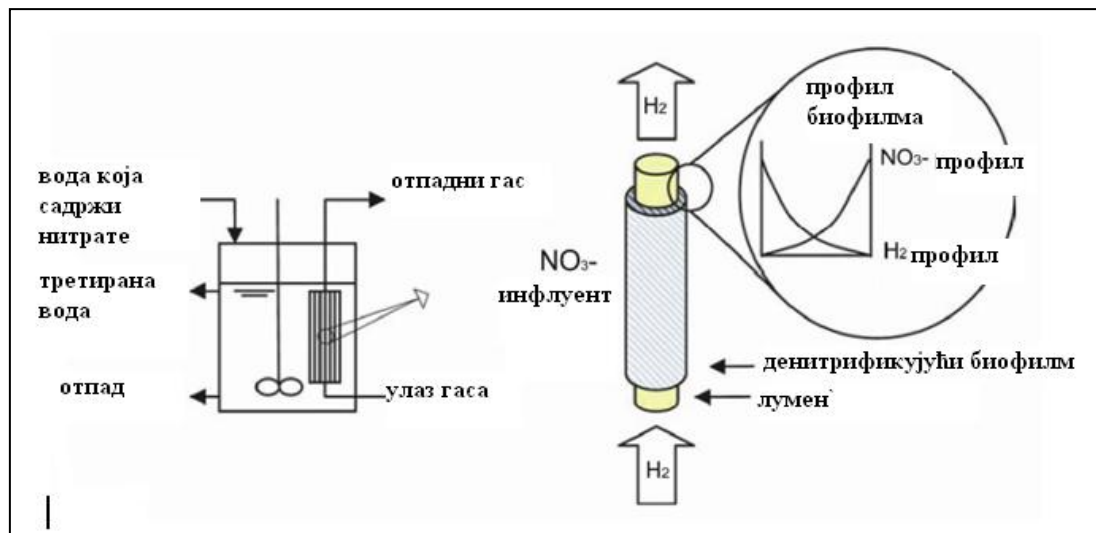


Слика4.7.Мембрански биореактор са јонском-изменом

4.2.3 Мембрански биореактор са трансфером гаса

Да би се избегла потенцијална секундарна контаминација везана за примену органског супстрата, водоник може бити коришћен као електрон донор комбинован или саугљен-диоксидом или бикарбонатом као извором угљеника за аутотрофну денитрификацију.

Мембрански реактори са трансфером гаса (слика 4.8) обично користе гас-пермеабилна шупља влакна, за довођење водониковог гаса до лумена денитрификујућих бактерија које расту на спољној страни мембране.[7]



Слика4.8.Мембрански биореактор са трансфером гаса[7]

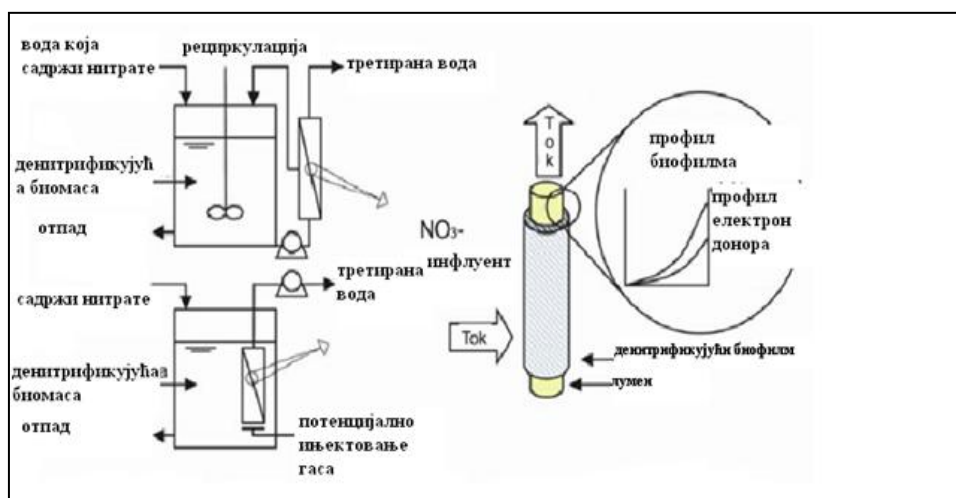
4.2.4 Мембрански биореактори под притиском

Процес се углавном ослања на суспендовану денитрификујућу биомасу, а ретко када на развој биофилма у систему. Предност му је продужени контакт између денитрификујуће културе и нитрата у медијуму реактора.

Постоје два модула ових биореактора:

- класични спољни модул и
- потапајући.

Код спољног модула мембрана је смештена са спољне стране биореактора и на тај начин физички одбија биомасу и друге нуспродукте, (слика 4.9).[7]



Слика 4.9. Мембрански биореактор под притиском [7]

4.2.5 Мембрански реактори под притиском и са трансфером гаса

Најновија истраживања су фокусирана на инкорпорацији трансфера гаса и потапајућих мембрана под притиском у истом реактору. Истраживања су углавном била фокусирана на третман са суспендованом биомасом. Испробана су оптерећења нитратима у опсегу 0,024 - 0,192 kgNO₃, али је највеће оптерећење резултовало 100% уклањањем нитрата.

Идентификовано је неколико могућих извора повишене концентрације, настајања и ослобађања:

- растворних продуката, летљивих масних киселина,
- продуката ацетогених бактерија у биомаси и
- екстраћелијских полимерних супстанци.

У табели 5 су приказане предности и недостаци појединих типова МБР система.

Табела 5. Предности и мане појединих типова МБР

Конфигурација	Предности	Недостаци
Екстрактивна	- Одвојеност биомасе и угљеника од продуктивне воде - Задржавање биомасе	- Захтева даљу обраду третиране воде - Пробој угљеника - Трошкови пумпања
МБР са јонском изменом	- Густа мембрана значајно редукује ризик од пробоја угљеника - Задржавање биомасе	- Захтева даљу обраду третиране воде - Потенцијално комплексан рад - Високи трошкови за мембране - Трошкови пумпања
МБР са трансфером гаса	- Нетоксични и јефтини електрон донор - Добро уклањање нитрата - Мали садржај биомасе	- Захтева даљу обраду третиране воде - Здравствени и безбедносни ризик везан за растварање водониковог гаса - Аудитрофи, спора адаптација
МБР под притиском	- Задржавање биомасе - Директна филтрација смањује потребу за накнадним третманом третиране воде - Доказана на индустријској скали - Ниска цена - Једноставна за рад	- Потенцијал за пробој угљеника - Трошкови аерације - Трошкови пумпања - Захтева даљу обраду третиране воде
МБР биофилмелектродни реактор	- Нетоксичани јефтин електрон донор - Потенцијала за тачном контролом дозе електрон донора - Директна филтрација смањује потребу за накнадним третманом третиране воде	- Високи утрошци електричне енергије - Здравствени и безбедносни ризик везан за растварање водониковог гаса - Могу се уклањати нитрати смао у ниским концентрацијама - Комплексна контрола - Ефикасност зависи од концентрације раствореног кисеоника
МБР под притиском са трансфером гаса	Комбинује ефекте реактора под притиском и реактора гаса	- Здравствени и безбедносни ризик везан за растварање водониковог гаса - Трошкови аерације

4.3.Примери примене биодискова који се користе у свету

На сликама 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14 и 4.15 су приказана различита решења мембрана и мембранских система која се користе у свету за третман отпадних вода, од веома једноставних до сложених мембранских система.



Слика 4.10. Различити типови мембране



Слика 4.11. Техничко решење мембранског система



Слика 4.12. *Техничко решење мембранског система*



Слика 4.13. *Пример мембранског система*



Слика 4.14. *Пример мембранског система*



Слика 4.15. *Мембранси систему УЕА*

5.0. Прорачун једног мембранског постројења

У овом поглављу је дат пример прорачуна једног мембранског постројења које би се користило за пречишћавање отпадне воде за 500 ЕС.

Почетни подаци су:

$N_{st}=500$ - укупан број становника,

$p=1\%$ - предвиђена стопа прираштаја становништва,

$n=40$ година - временски период за који се предвиђа коришћење постројења.

- Број становника на крају пројектног периода:

$$N_{st,k} = N_{st} \cdot (1 + p)^n = 500 \cdot (1 + 0.01)^{40} = 744$$

- Потрошња воде по еквивалентном становнику (ЕС) усваја се:

$$\dot{V}_{ES} = 500 \frac{l}{st \cdot dan}$$

- Део воде који се испусти у канализацију:

$$p=70\%$$

- Количина воде која се по еквивалентном становнику (ЕС) испусти у канализацију:

$$\dot{V}_{k,ES} = p \cdot \dot{V}_{ES} = 0,7 \cdot 500 = 350 \frac{l}{st \cdot dan}$$

- Укупан проток комуналних вода из домаћинства:

$$\dot{V}_{k,st} = N_{st,k} \cdot \dot{V}_{k,ES} = 744 \cdot 0,350 = 260 \frac{m^3}{dan}$$

- Проценат повећања потрошње воде у домаћинствима у пројектном периоду:

$$p_1=1\%$$

- Укупан проток комуналних вода на крају пројектованог периода:

$$\dot{V}_k = \dot{V}_{k,st} \cdot \left(1 + \frac{p_1}{100}\right)^n = 260 \cdot \left(1 + \frac{1}{100}\right)^{40} = 388 \frac{m^3}{dan}$$

- Укупан проток комуналних вода на крају пројектованог периода сведена на 1 h:

$$\dot{V}_k = \frac{\dot{V}_k}{24} = \frac{388}{24} = 16 \frac{m^3}{h}$$

- Просечна дневна потрошња у данима са минималном потрошњом:

$$\dot{V}_{k,\min}^d = k_{d,\min} \cdot \dot{V}_k = 0,4 \cdot 16 = 6,4 \frac{m^3}{h}$$

- Просечна дневна потрошња у данима са максималном потрошњом:

$$\dot{V}_{k,\max}^d = k_{d,\max} \cdot \dot{V}_k = 1,6 \cdot 16 = 25,6 \frac{m^3}{h}$$

- Минимални часовни проток:

$$\dot{V}_{k,\min}^h = k_{h,\min} \cdot \dot{V}_{k,\min}^d = 0,2 \cdot 6,4 = 1,28 \frac{m^3}{h}$$

- Максимални часовни проток:

$$\dot{V}_{k,\max}^h = k_{h,\max} \cdot \dot{V}_{k,\max}^d = 2,5 \cdot 25,6 = 64 \frac{m^3}{h}$$

- Усвојени меродаван проток воде за прорачун је:

$$\dot{V}_{k,\max}^h = 64 \frac{m^3}{h}$$

- Специфично органско оптерећење инфлуента на улазу је:

$$BPK_5 = 50 \frac{g}{st.dan}$$

- Укупно органско оптерећење постројења за пречишћавање је:

$$B_V = BPK_5 \cdot N_{st,k} = 50 \cdot 744 = 37200 \frac{gBPK_5}{dan} = 37.200 \frac{kgBPK_5}{dan}$$

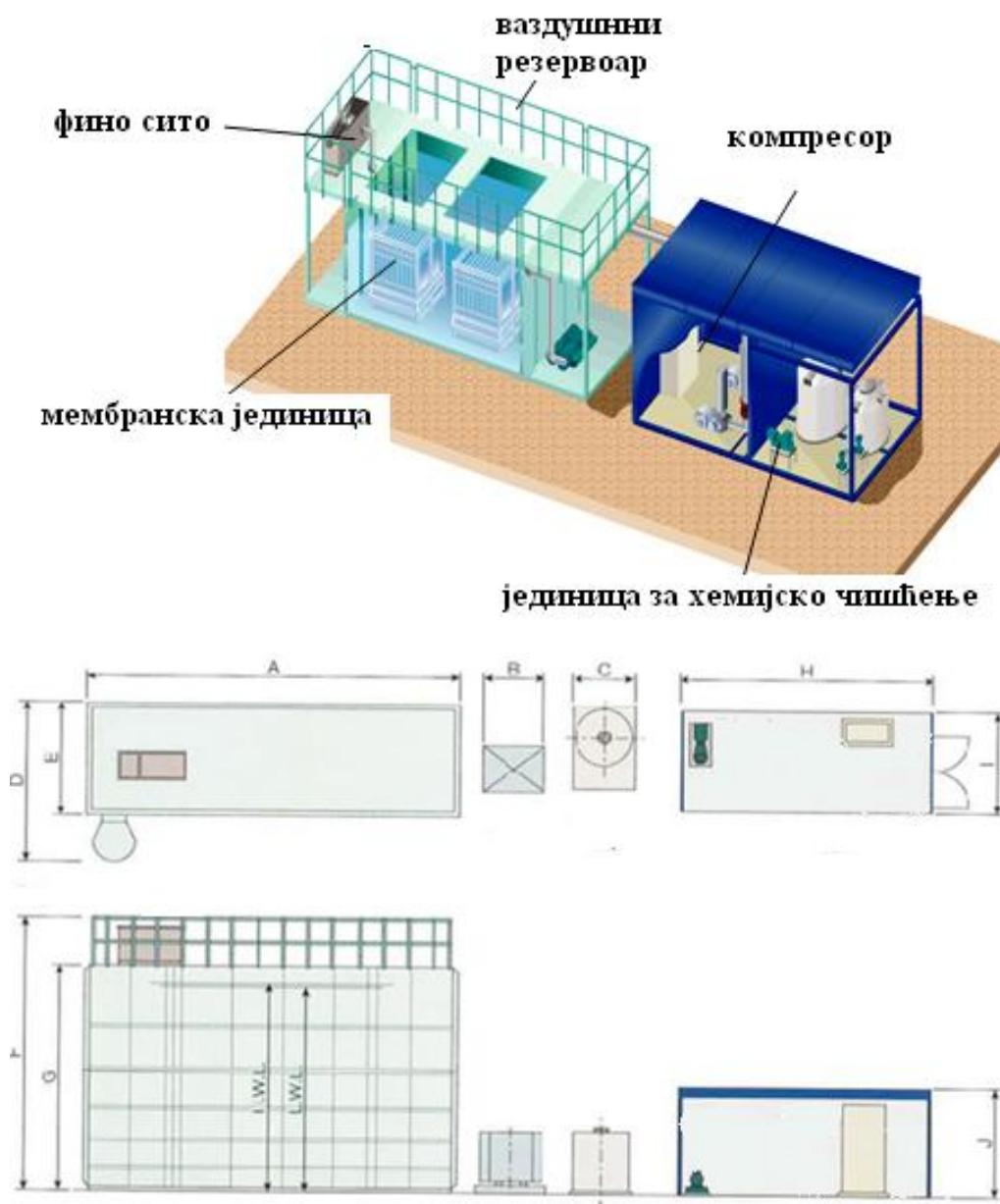
- Концентрација органских материја инфлуента у постројење за пречишћавање:

$$B_V^h = \frac{B_V}{24} = \frac{37.200}{24} = 1.550 \frac{kgBPK_5}{h}$$

$$C_{ul} = \frac{B_V^h}{V_{k,\max}^h} = \frac{1.550}{64} = 0,02421 \frac{kgBPK_5}{m^3}$$

5.1. Димензионисање мембранског постројења

Идејно решење мембранског постројења, приказано на слици 5.1 урађено је за 500 становника. Прорачун мембранског постројења је приказан у тачки 5.0, док су у табели 6 приказане стандардне димензије мембранског система, а у табели 7 квалитет третиране воде, док је за распоред осталих делова и самог система остављена слободасамом инжењеру.



Слика 5.1. Идејно решење мембранског постројења

Табела 6. Димензије мембранског система

модел	Капацитет (m ³ /s)	Запремина резервоара (m ³)	Капацитет (kWA)	Потрошња (kWh/d)
BS250	250	38	15	190
BS500	500	76	27	340
BS750	700	104	36	500

модел	ДИМЕНЗИЈЕ (mm)											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	LWL	HWL
BS250	6.810	1360	1500	3560	2610	5230	4130	6058	2438	2591	3550	3650
BS500	10900	1460	1500	3560	2610	5230	4130	6058	2438	2591	3550	3650
BS750	10900	1400	1500	3610	2710	5540	5440	6058	2438	2591	4800	4900

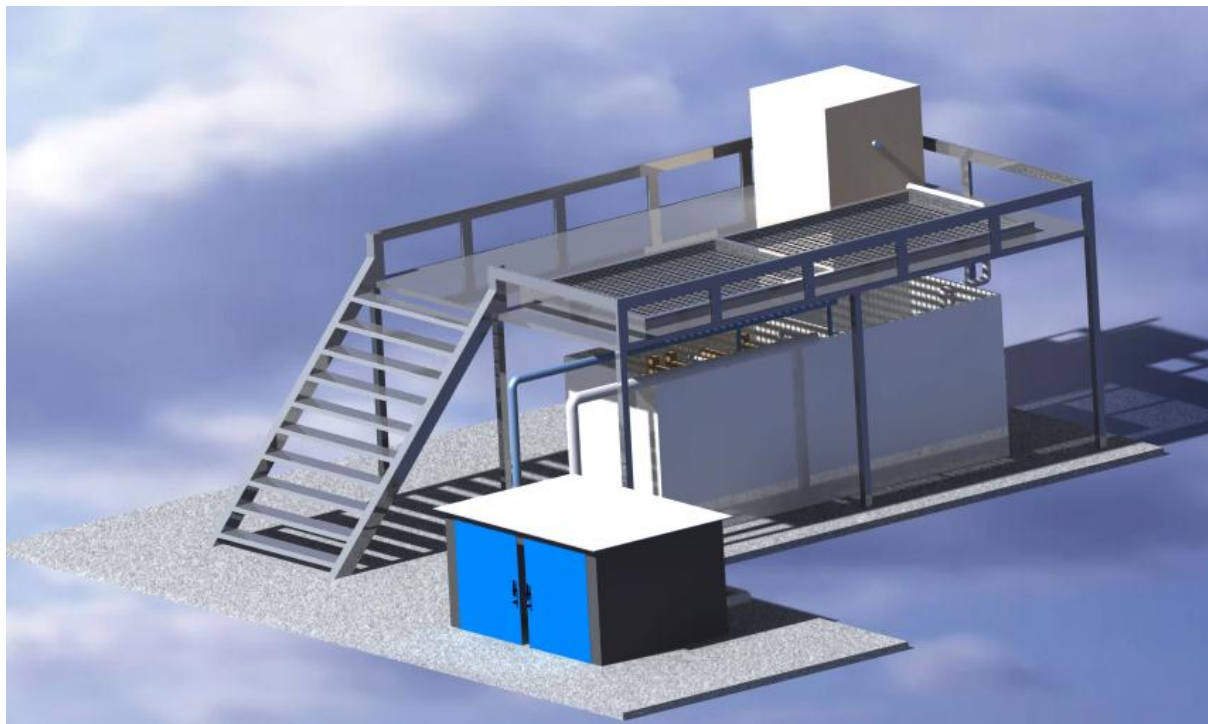
Табела 7. Квалитет третиране воде

Ставке	Јединица	Сирова вода	Третирана вода
BOD	mg/l	300	10
SS	mg/l	300	< 5
Укупан азот	mg/l	50	20
Укупан фосфор	mg/l	10	2

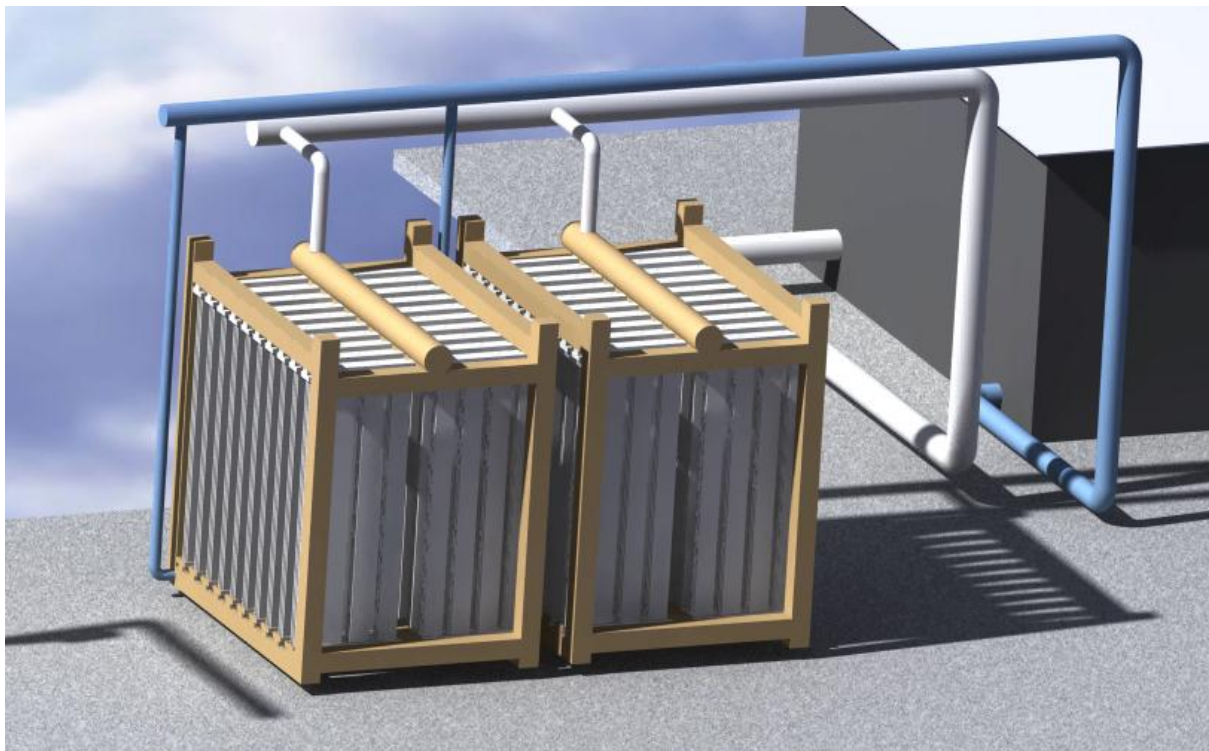
6.0. 3Д МОДЕЛ МЕМБРАНСКОГ СИСТЕМА

У раду поред већ изнетог, урађен је и 3Д модел МБР система по идејном решењу из претходне тачке који сам сам осмислио. Модел мембранског биореактора је моделиран у програмском окружењу Catia V5R19, а реализован је из више корака.

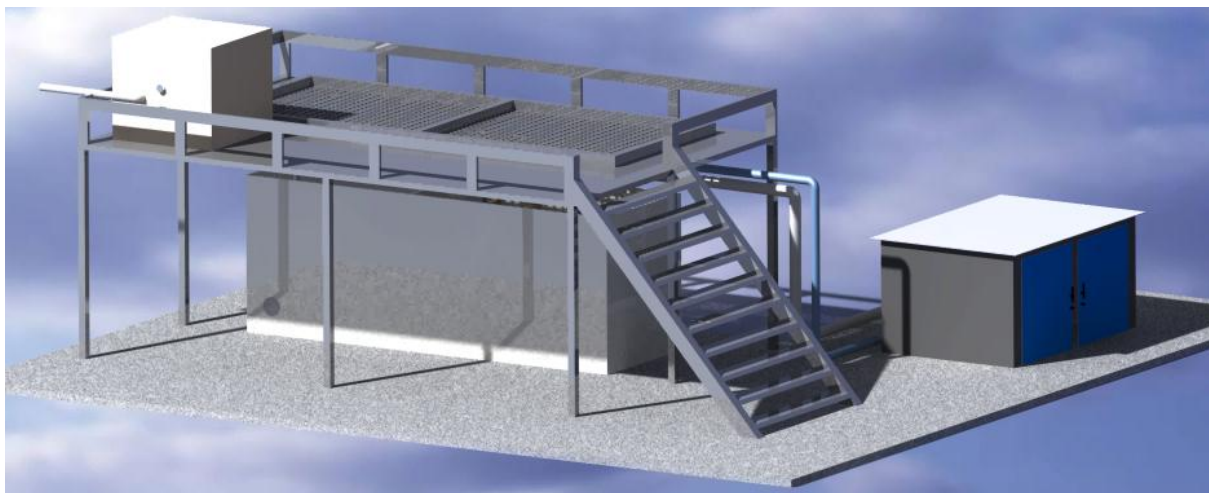
На следећим сликама, од 6.1 до 6.9, ће бити приказане компоненте мембранског биореактора, као и целокупни склоп.



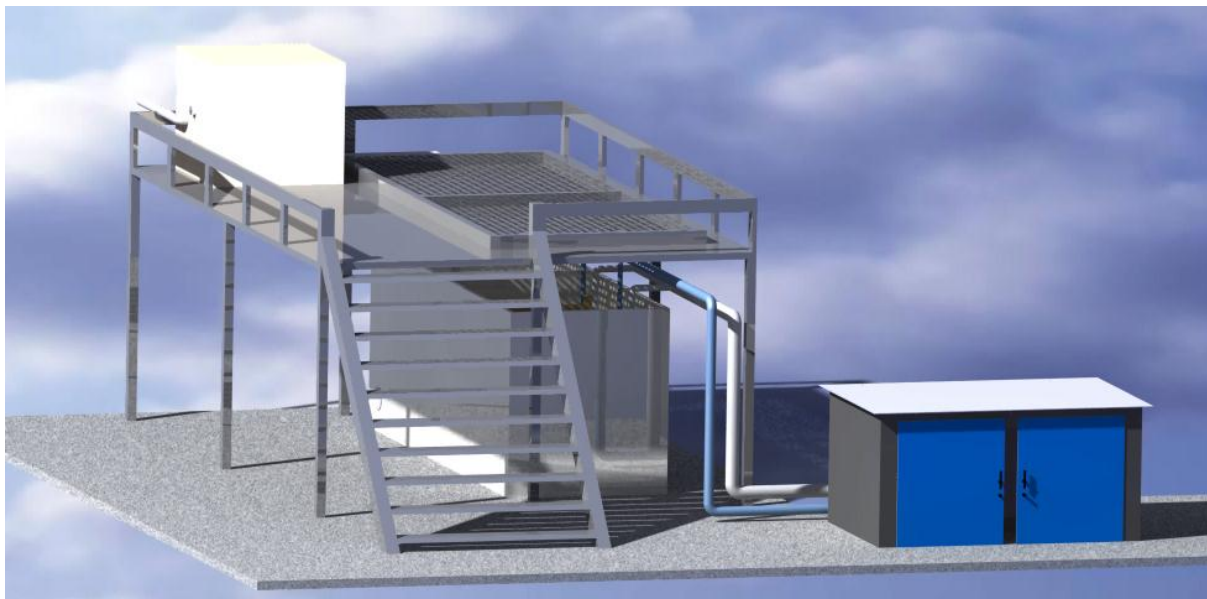
Слика 6.1.Изглед целокупног постојења



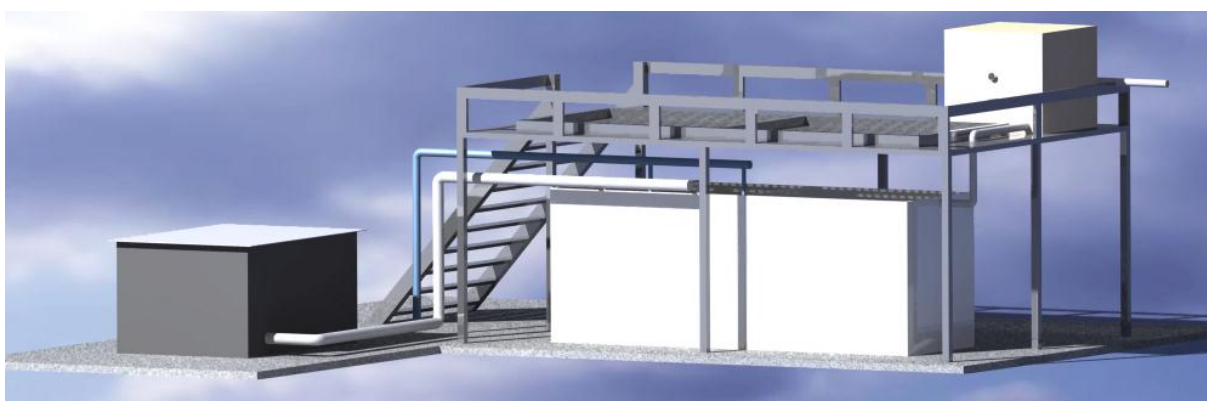
Слика 6.2.*Веза две мембране*



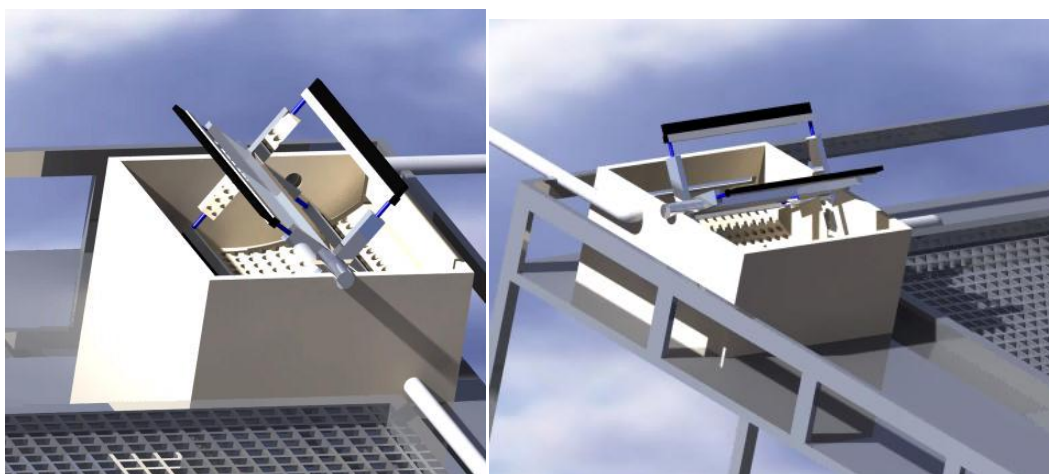
Слика 6.3.*Склоп мембранског постојења*



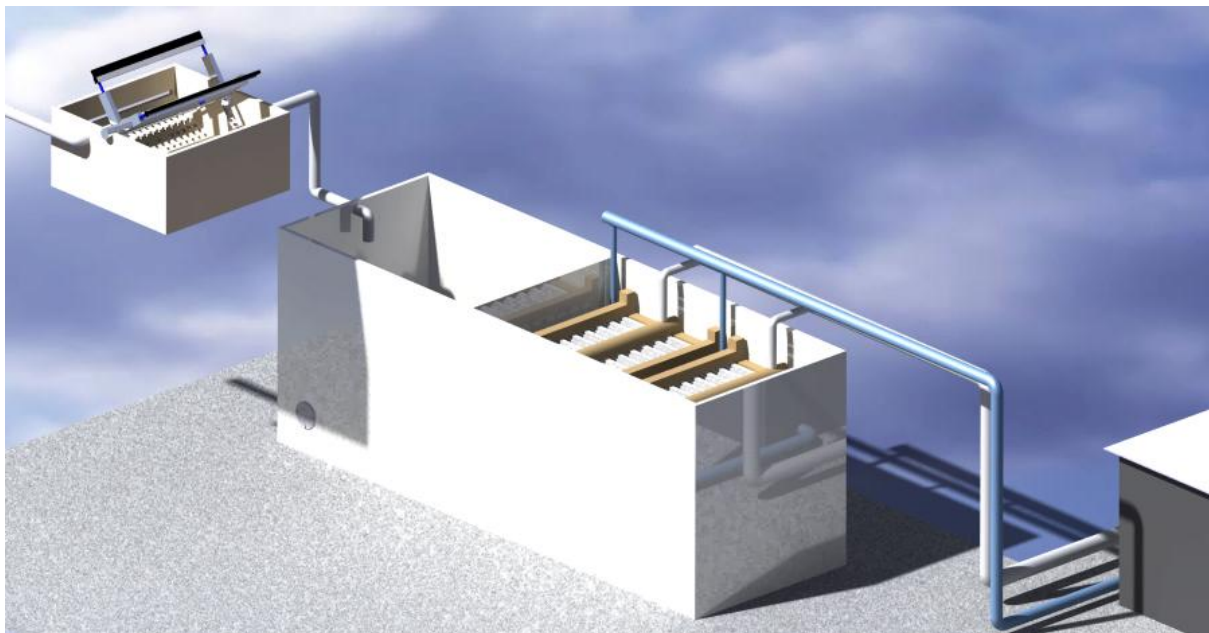
Слика 6.4. Склоп мембранског постојења



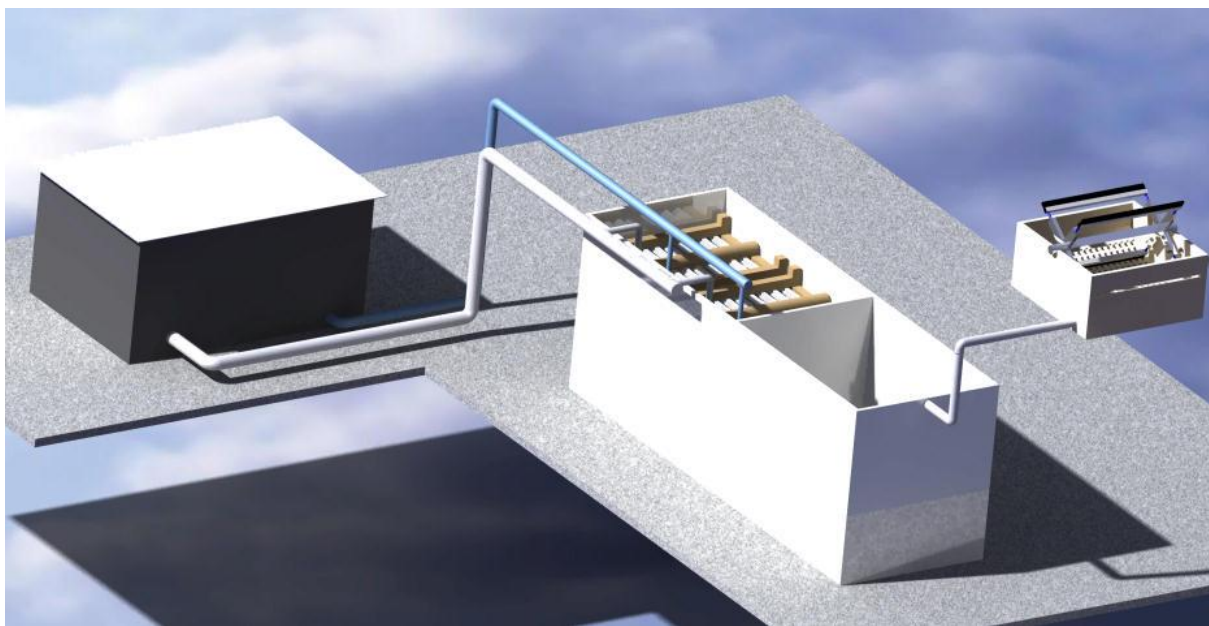
Слика 6.5. Склоп мембранског постојења



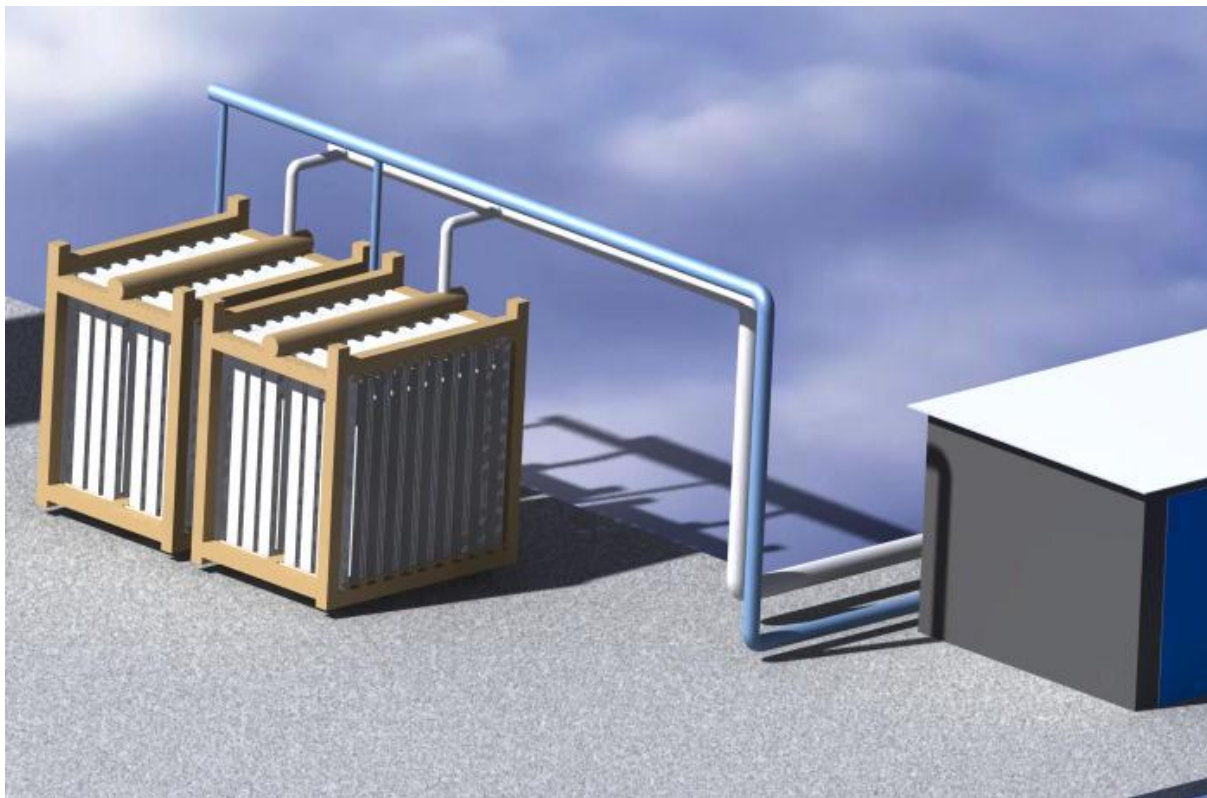
Слика 6.6. Изглед грубе решетке



Слика 6.7.*Груба решетка са мембранама*



Слика 6.8.*Склоп мембрана са грубом решетком, компреском и пумпном станицом*



Слика 6.9.*Изглед мембране*

7.0 ТЕХНО-ЕКОНОМСКА АНАЛИЗА

7.1. Цена одржавања

Главне компоненте трошкова при одржавању су мембране, затим замена мембрана, њихово одржавање и хемикалије за чишћење, а све у функцији потребне снаге и рада. Укупни трошкови одржавања се одређују као збир ових фактора, и то као цена изражена по m^3 .

Капитални трошкови узимају у обзир збир две компоненте, трошкове мембранских јединица и трошкове "не-мембрана". Не-мембрански трошкови обухватају све механичке и електричне компоненте, опрему и пратеће грађевинске радове. Цена земљишта не улази у трошкове. У Србији цене земљишта, за већину потенцијалних локација, су веома ниске у поређењу са другим капиталним трошковима. Ово није свуда случај, и на неким локацијама цена земљишта може имати значајан утицај у односу на мембране.

Цена мембрана зависи од специфичне цене трошкова C_{mem} ($€/m^2$), флуksа, J (l/m^2h) и протока воде за третман Q (l/h). У случају отпадних вода треба узети у обзир дневне варијације у протоку. У широкој употреби за проток домаћих отпадних вода се узима:

$$\text{максимални дневни проток} = 2 \times \text{просечан дневни проток}.$$

Ова препорука се користи при одређивању максималног мембранског простора потребног за пречишћавање отпадних вода. За пречишћавање отпадних вода цена мембрана је дата као:

$$C_{mem} (£) = 2 \times C_{mem} \times Q / J$$

где је:

Q (l/h) - просечан проток воде при третману.

При третману вода за пиће кориси се константни проток. При прорачуну мембранског постројења најчешће се врши додавање 20 одсто више мембрана, чиме је обезбеђен капацитет који може да омогући застој при чишћењу и одржавању. Цена мембрана за пречишћавање вода је дакле:

$$C_{mem} (£) = 1.2 \times C_{mem} \times Q / J.$$

Трошкови одржавања једног постројења односе се на капиталне трошкове машинских и електро делова. Годишње он износи 1,5% од почетног капитала немембранских трошкова.[9]

7.2. Инвестициони и експлоатациони трошкови

Досадашња искуства у примени мембранских система у процесима третмана воде су показала да ови системи имају низ предности у односу на конвенционално постројење:

- Мањи су трошкови инвестиционих улагања,
- Мањи су експлоатациони трошкови,
- Употреба хемикалија је сведена на минимум,
- Простор за смештај инсталације је знатно мањи,
- Продукција муља у току процеса пречишћавања је мања због мањег утрошка хемикалија,
- Употреба муља као ђубрива,
- Поновна употреба за наводњавање усева и прање,
- Вода која се испушта у окружење не угрожава животну средину,
- Време изградње је краће због мањег обима радова и релативно једноставне монтаже мембранских батерија,
- Мобилност.

Конвенционално постројење капацитета 500 l/s је 21,4% скупље од мембранског постројења капацитета 600 l/s, а специфичне инвестиције у конвенционалном постројењу су веће за 45,7%. Такође конвенционално постројење има и више годишње трошкове изражене преко цене 1 m³ пречишћене воде за 30,5% (0.338 \$/m³ према 0,259 \$/m³).[9]

8.0. ЗАКЉУЧАК

Квалитет живота зависи од квалитета воде. Дуготрајан и поуздан рад индустријских постројења зависи од квалитета воде. Иако је еколошки приоритет у спречавању загађења воде велика одговорност, дужност еколога, инжењера и хемичара је да развију и примењују ефикасне поступке за пречишћавање отпадне воде. Рециклирање воде заузима посебно место. Поред конвенционалних поступака и метода, у будућности треба улагати у постројења са мембранским сепарационим технологијама како би се оствариле уштеде у потрошњи свеже воде уз високу ефикасност. Паралелно са развојем метода за пречишћавање морају да се развију методе за контролу квалитета и заштиту воде.

Мембрански процеси представљају скоро савршен процес филтрирања кроз одстрањивање најситнијих честица из воде. Мембранска филтрација се користи за пречишћавање воде и одстрањивање неорганских минерала, соли и осталих нечистоћа у циљу побољшања изгледа, укуса и осталих својстава воде. Тако се добија квалитет вода за пиће који задовољава све стандарде вода за пиће. Након познатих начина пречишћавање воде индустријском филтрацијом (градски водовод и фабрике), прокувавањем и хлорисањем, дошло се до технички скоро савршеног начина филтрације воде, који готово од сваке загађене воде може начинити здраву воду.

Мембране које се користе у овом поступку имају толико ситне отворе да кроз њих могу проћи готово само молекули чисте воде, а све нечистоће остају на мембрани и избацују се преко одвода као техничка отпадна вода. Оваквим начином филтрација воде добија се вода за пиће високог квалитета која се може користити и у медицинске сврхе.

9.0. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Шуштершич В.: Технологије и постројења за третман отпадних вода, (скрипта), Машински факултет, Крагујевац, 2008.
- [2] <http://www.scribd.com/doc/73103544/2-6-Prociscavanje-otpadnih-voda>(приступљено 23.02.2014.)
- [3] Приручник за полагање пријемног испита, Факултет за примењену екологију Футура, Београд,
http://futura.edu.rs/buduciStudenti/prirucnik_za_prijemni_ispit/Prirucnik%20za%20polaganje%20prijemnog%20ispita.pdf(приступљено 23.02.2014.)
- [4] Цветковић Д., Шуштершич В.: Упоредни преглед карактеристика ротационих биодискова и секвенцијалних фазних реактора за третман комуналних отпадних вода, Водопривреда, br. 43, pp. 249-257, 2011, ISSN 0350-0519
- [5] Постројење за пречишћавање отпадних вода у сеоским домаћинствима, семинарски рад, Процесни апарати и постројења, Машински факултет Крагујевац, 2008.
- [6] Малетић С.: Уклањање азотних материја из воде за пиће
<http://www.cecra.dh.pmf.uns.ac.rs/pdfww2009/Maletic2009.pdf>(приступљено 23.02.2014.)
- [7] <http://www.uns.ac.rs/sr/doktorske/nikoletaKukucka/disertacija.pdf>(приступљено 23.02.2014)
- [8] <http://www.water.siemens.com>(приступљено 25.02.2014.)
- [9] G. Owen, M. Bandi, J.A. Howell, S.J. Churchouse: „Economic assessment of membraneprocesses for water and wastewater treatment“, Journal of Membrane Science 102,1995 77-91
- [10] Мојовић Љ.: Биолошка обрада отпадних вода, Техничко-металуршки факултет, 2004, Београд
- [11] Јовановић Д.: Пројекат еколошког збрињавања отпадних вода на нивоу урбане средине, Факултет здравствених наука, Бања Лука, 2009
- [12] Стефановић Д. : Ефекти реакционих филтера на бази модификованих природних минерала у пречишћавању отпадних вода, Нови Сад, 2010
- [13] <http://www.scribd.com/doc/138106060/1-Aerobni-Sistemi-Za-Tretman-Otpadnih-Voda>, (приступљено 23.02.2014.)
- [14] Љубисављевић Д, Ђукић А., Бабић Б.: Пречишћавање отпадних вода, Грађевински факултет, Београд, 2004.
- [15] Мунир Б. Јахић: Пречишћавање загађених вода, Нови Сад, 1990