

**Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу**

Мирјана Ј. Јуришевић

**„САВРЕМЕНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ У ТРЕТМАНУ
ВОДА - МЕМБРАНСКИ СИСТЕМИ”**

дипломски рад

Крагујевац, 2017.

Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Наставни план 2000

Ниво студија: Дипломске академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Неконвекционалне енерготехнологије

Број индекса: 112/2001

Мирјана Ј. Јуришевић

**„САВРЕМЕНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ У ТРЕТМАНУ
ВОДА - МЕМБРАНСКИ СИСТЕМИ”**

дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Вања Шуштершич - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог дипломског рада кандидат треба да опише основне начине третмана вода за пиће, као и отпадних вода, са посебним освртом на мембранске технике третмана. Неопходно је да кандидат да преглед примене различитих мембранске технологије, као и преглед примене у индустрији и снабдевању водом за пиће. На крају треба да прорачуна једно постојење и прикаже његов 3Д модел.

Препоручена литература:

- [1] G. Owen, M. Bandi, J.A. Howell, S.J. Churchouse: „Economic assessment of membrane processes for water and wastewater treatment“, Journal of Membrane Science 102 (1995) 77-91
- [2] John Coppen: „Advanced Wastewater Treatment Systems“, Ph Thesis, University of Southern Queensland, Faculty of Engineering and Surveying, 2004
- [3] Љубисављевић Д, Ђукић А., Бабић Б.: „Пречишћавање отпадних вода“, Грађевински факултет, Београд, 2004.

Крагујевац, 2017

ментор:

Др Вања Шуштершич

Резиме

У данашње време заштита животне средине је у центру пажње. То је довело до нових законских одредби и норми, па самим тим и строгих критеријума који су прописани нашим законом и усклађени са законом Европске уније. Данас се у свету све више посвећује пажња третману воде што захтева примену савремених технологија. Тема овог дипломског рада је добијање чисте воде знатно вишег квалитета од квалитета полазне воде, добијање воде за пиће као и третман отпадне воде.

У раду је дат прилог изучавања мембранске филтрације воде. У процесима третмана воде за пиће и отпадних вода могу се користити различити типови мембрана. У таквим процесима користе се микрофилтрацијске (МФ), ултрафилтрацијске (УФ), нанофилтрацијске (НФ) и реверзно осмотске (РО) мембране. Мембрански системи су веома погодни и имају широк спектар примене, укључујући: филтрацију, омекшавање, дезинфекцију, органско уклањање и десалинизацију у компактним, аутоматизованим мањим јединицама.

Кључне речи: нанофилтрација, микрофилтрација, ултрафилтрација, реверзна осмоза, пречишћавање, мембрански третман, вода.

Abstract

Today, environmental protection is the center of attention. This has led to new legislation and standards, and therefore the strict criteria laid down by our laws and complied with the law of the European Union. Across the world, more and more attention is paid to the treatment of water, which requires the use of modern technology. The topic of this paper is the way of obtaining clean, higher quality water from water sample, obtaining drinking water as well as wastewater treatment.

The study on membrane water filtration is attached to this paper. Drinking and waste water treatment processes include several types of membranes. Microfiltration (MF), ultrafiltration (UF), reverse osmosis (RO) and nanofiltration (NF) membranes are used.

Membrane systems are very versatile and can be used for various applications including: filtration, softening, disinfection, organics removal and desalination in compact, automated, modular units.

Keywords: nanofiltration, microfiltration, ultrafiltration, reverse osmosis, purification, membrane treatment, water.

САДРЖАЈ

1. Увод.....	1
1.1 Значај и коришћење воде	3
1.2 Развој канализације	3
1.2 Отпадне воде.....	4
2. Мембрански процеси у третману вода за пиће и отпадних вода	7
2.1 Развој мембранских процеса	10
2.2 Преглед мембранских уређаја.....	11
2.3 Основни принципи и параметри мембранских процеса.....	11
2.4 Ток струјања флуида у односу на мембрану	12
2.5 Развој мембранских процеса	15
2.6 Предности и недостаци мембранских уређаја.....	16
2.7 Типови и карактеристике мембранских процеса за пречишћавање течности	17
2.7.1 Микрофилтрација (МФ)	21
2.7.2 Ультрафилтрација (УФ)	22
2.7.3 Нанофилтрација (НФ)	23
2.7.4 Реверзна осмоза (РО)	24
2.7.5 Електродијализа	25
2.7.6 Дијализа.....	26
2.8 Материјали за израду мембрана.....	26
2.9 Мембрански модули, конфигурација и склопови	28
2.10 Параметри ефикасности мембранских система.....	32
2.11 Одржавање мембрана	36
2.12 Прање и чишћење мембрана	37
2.13 Век трајања мембрана.....	38
3. Мембрански системи у процесу третмана вода за пиће.....	39
3.1 Предтретман	39
3.2 Мембранске батерије.....	40
3.3 Посттретман.....	41
3.4 Искуства и развој у примени мембранских процеса у припреми воде за пиће	42

3.5	Опис Pall-овог система за филтрацију	42
3.6	Особине Pall-овог система за микрофилтрацију	44
3.7	Техничке специфичности мембранских система микрофилтрације	45
3.8	Поређење микрофилтрације са мембранским процесима.....	49
3.9	Разлози за одабир и примену мембранске технологије	51
4.	Мембрански системи у процесу третмана отпадних вода	53
4.1	Предtretман	55
4.2	МБР процес	60
4.3	Опис МБР технологије код обраде комуналних отпадних вода.....	64
4.4	Савремени поступци пречишћавања	66
4.5	Процес ултрафилтрације	68
4.7	Примери примене ултрафилтрационих уређаја	69
4.8	Предности МБР технологије	73
5.	Примери примене мембранских процеса за примену воде за различите намене	75
5.1	Додатно пречишћавање питке воде за домаћинства	75
5.2	Пречишћавање воде за дијализу бубрега.....	76
5.3	Пречишћавање воде за потребе фармацеутске индустрије.....	78
5.4	Пречишћавање воде за електронску индустрију	80
5.5	Пречишћавање воде која се флашира	81
5.6	Пречишћавање воде за производњу пића	83
6.	Прорачун мембранског постројења.....	85
7.	Закључак	90
	Литература	92

1. Увод

„Вода је опште наследство, чију вредност морају сви познавати. Задатак је свакога да са њом економише и да је брижљиво користи“

Европска повеља о води

Вода је један од битних услова настанка, опстанка и репродукције живота у свим његовим облицима. Међутим, вода постаје све ређе расположиви ресурс и зато се сматра и третира као један од глобалних проблема савременог друштва.

Значај воде за људе, за сав живи свет, екосистем, планету као целину, веома је велики и вишеструк почев од тога да је вода услов живота, па до многих других функција. Према томе, вода је: основ живота и медијум одакле је живот потекао, неопходна намирница за комплетну биоценозу укључујући и човека, извор хране, предмет рада и средство за рад, средина за многе живе организме, извор енергетских ресурса, место рекреације.

Вода представља добро у општој употреби на које право имају сви, али ни у ком случају не може се третирати као дар природе којим се слободно располаже. Због значаја воде и њеног вишенаменског коришћења, она ужива заштиту и користи се на начин прописан законом.

Услед убрзане и све веће индустријализације, урбанизације и развоја прљаве технологије током времена, проблем воде се све оштрије и све критичније посматра. Сада се вода посматра не само као извор здравља и опстанка, већ и као извор заразе и опасности од појединих групних и масовних епидемијских болести.

Вода је основни конститутивни елемент сваког организма. Она је неопходна за одигравање виталних биохемијских процеса, што се потврђује њеним присуством до 70% у биосфери и у нашем организму. За нормално функционисање организма и одржавање живота неопходно је свакодневно уношење воде. За задовољавање основних физиолошких потреба потребно је уношење 2 – 3 литра воде дневно. Осим физиолошких, вода има велики санитарни и економски значај те је као таква значајна за привредни живот земље.

Око две трећине светске популације нема на располагању ни 50 l воде на дан. Недостатак воде тесно је повезан са појавама епидемија, глади и смрти. Чињеница да постоји тзв. криза воде чини се апсурдном с обзиром на то да је 70% наше планете под воденом површином. Међутим, 98% ове воде је слано и стога неупотребљиво за пиће и у пољопривреди (десалинизација је технички једноставна, али изузетно скупа). Највећи део свеже воде налази се у ледницима или у дубини Земљине коре, а само је 0,14% (река и језера) лако искористиво.

Према пореклу вода може бити:

- атмосферска (налази се у облику водене паре или као кондензована у течном агрегатном стању),
- површинска (вода у ледницима, океанима и морима, рекама и језерима),
- дубинска (вода испод површинског слоја, која испуњава поре и шупљине у стенама као слободна или везана, у облику водене паре и у течном агрегатном стању).

Хемијско загађивање површинских вода и тла одражава се и на квалитет дубинских вода. За разлику од река и језера у којима постоје процеси аутопурификације, елиминација полутаната из дубинских слојева је изузетно тешка и скупа, често и немогућа. Ово се посебно односи на загађења услед примене вештачких ђубрива (нитрати и нитрити) и пестицида у руралним подручјима, односно на неадекватну диспозицију чврстог и течног отпада (тешки метали, полициклични ароматични угљоводоници итд.) у индустријским зонама.

За водоснабдевање се користе површинске воде, извори или дубински слојеви хидрогеолошког система (вода изнад првог непропустљивог слоја на дубини од 10 – 20 до 100 m).

Квалитет природних вода процењује се на основу количине суспендованих материја, сувог остатка, раствореног кисеоника, потрошње кисеоника, видљивих отпадних материја, боје, мириса, рН итд.

Квалитет пијаће воде зависи пре свега од извора и његове заштите, а затим од начина прераде воде и одржавања дистрибутивног система. Пре него што се изабере извор веома је важно знати да ли је квалитет сирове воде задовољавајући или да ли може прерадом да се побољша тако да вода буде погодна за пиће.

Извор треба да буде квалитета и капацитета да може да задовољи становништво не само под нормалним условима експлоатације просечног годишњег циклуса већ и под условима који нису уобичајени, али се могу очекивати (суше, поплаве, земљотреси итд.).

Извор који се експлоатише треба да се заштити од загађивања, што је увек боље него да се вода накнадно пречишћава. Да би се извориште заштитило, треба строго контролисати испуштање канализационих отпадних вода и пољопривредног отпада, уз лоцирање места за одлагање смећа и токсичног отпада.

Према подацима Светске организације за заштиту вода до 2025. године две трећине човечанства осетиће озбиљан недостатак воде. Процене стручњака кажу да око 1,1 милијарди људи нема приступ пијаћој води, а 2,5 милијарди нема обезбеђене елементарне санитарне услове. Шест хиљада деце млађе од 5 година сваког дана умире од болести проузрокованих загађеном водом, а више од пет милиона људи годишње, што је десет пута више него број погинулих у свим ратовима годишње на свету.

1.1 Значај и коришћење воде

Водени омотач Земље назива се хидросфера, а њу сачињавају воде океана, мора, језера, река, мочвара, вода у сталном леду и снегу, као и вода у атмосфери и Земљиној кори. У облику океана, мора, река и мочвара, вода прекрива преко 360 милиона km², односно преко 2/3 укупне површине наше планете.

Укупна количина планетарне водене масе је стална, јер се вода употребом не троши, него се за одређено време и одређену намену издваја из ње, да би се после употребе у различитој мери обogaћена различитим примесама вратила у практично истој количини у којој је и узета. Три четвртине укупних резерви слатке воде на планети се налази заробљено у облику ледника и глечера (експлоатација техно-економски неоправдана), док се највеће количине слатке воде експлоатише из подземних извора као и река и слатководних језера.

Вода у природи се налази у стању непрекидног кружења, образујући затворени хидролошки циклус. Вода издвојена из хидролошког циклуса, да би била коришћена за снабдевање становништва или индустрије или неку другу намену, бива укључена у такозвани употребни, односно антропогени циклус. Под употребним циклусом се подразумева кружење воде између изворишта и корисника, преко њене припреме за одређену употребу и преко пречишћавања отпадне воде која при тој употреби настаје.

Наше друштво улази у раздобље у коме се на бази примене законских прописа решава ургентан проблем заштите вода од загађења отпадним водама из индустрије и градских насеља. Индустријски загађивачи водотока, нарочито они већи, као и велика градска насеља, већ чине напоре да реше питање пречишћавања својих отпадних вода. Све се интензивније ради на пројектовању и изградњи објеката – постројења за пречишћавање, па се обзиром на законске обавезе може очекивати да ће у наредним годинама бити изграђен знатан број таквих постројења. Оваквим решавањем не осигурава се само смањење загађености терена, река, језера и мора, већ и чистоћа извора нових количина вода како за потребе насеља тако и за индустрију.

1.2 Развој канализације

Историјски подаци о развоју канализације показују да је пракса одвођења отпадних вода отвореним или затвореним каналима до оближњих водотокова заступљена још од давних времена. На основу тога је и сам систем добио име "канализација". Постоје докази да су пре 6.000 година у Индији постојали гравитациони канали за пречишћавање отпадних вода. У Египту су пронађени остаци бакарног цевовода који датира 2.500 година пре нове ере, коришћеног за одвођење отпадних вода. У Атини, у VIII и IX веку пре нове ере, коришћени су канали од камена, печене глине и керамике који су служили за одвод отпадних вода.

Такође је у Риму у VI веку пре нове ере изграђена најпознатија канализација "cloaca maxima". Канал је грађен од камених квадара над којим је изграђен свод. У Помпеји је пронађена каналска мрежа са свим прикључцима, која нам показује колико је та техника била развијена. Пример канализације Србије из тог периода је канализација Царичиног града која датира из VI века пре нове ере. Прва земља са развијеним градским канализацијама је Енглеска, а за њом то питање решавају и остале развијене земље, Немачка, САД, Француска и Русија.

Помоћу великих финансијских улагања и модерних техничких решења дошло је до изградње савремених објеката који у потпуности решавају проблеме отпадних вода и њихово пречишћавање.

1.3 Отпадне воде

Под отпадним водама подразумевају се све оне воде које након употребе мењају своје физичке, хемијске и биолошке особине јер повећавају садржај примеса, односно загађујућих материја које могу бити органског или минералног порекла.

Основни извори загађења вода су насеља, индустрија и пољопривреда. Ови такозвани концентрисани загађивачи испуштају отпадне воде преко канализационог система или канала у водопријемнике или се она одлаже на земљиште. У отпадној води материје се налазе у суспендованом и раствореном облику.

У табели 1.1. приказана је просечна дневна концентрација материја у отпадној води насеља (g/m^3).

Табела 1.1. Просечна дневна концентрација материја у отпадној води насеља (g/m^3)[8]

Материја	Минералне	Органске	Укупно	Петодневна биохемијска потрошња кисеоника (BPK ₅)
Таложне	130	270	400	130
Неталожне	70	130	200	80
Раствориве	330	330	660	150
Укупно	530	730	1260	360

У зависности од порекла и својства отпадне воде се деле на четири категорије:

- употребљене воде из домаћинства (фекалне – санитарне),
- употребљене воде из индустрије,
- атмосферске отпадне воде и
- комуналне воде.

Санитарне отпадне воде обухватају употребљене воде из купатила и кухиња, за испирање санитарних уређаја и од прања. Ове воде се састоје од 99,9 % воде и 0,1 % других материја које су одлучујуће за санитарно стање истих. Материје у отпадној води су органског и минералног карактера. Органске материје су спојеви угљеника са другим хемијским елементима и подложне су аеробној и анаеробној биоразградњи, а понекад и минерализацији.

Индустријске отпадне воде су оне воде које су искоришћене у технолошким процесима, и више не одговарају претходној употреби, а поједине се могу користити за рецикулацију у друге сврхе. Променљиве су по природи и количини у зависности од процеса који се одвијају у фабрики која их испушта.

Атмосферске отпадне воде су оне воде које су настале приликом атмосферских падавина (киша, снег). Ове отпадне воде су веома загађене изнад градских средина. Та загађења потичу углавном од растворених гасова, испирањем терена на који падну и еродирањем земљишта. Доказано је да је кишница, са градских улица у првих тридесет минута, загађенија од отпадних вода из домаћинства и индустрије.

Комуналне отпадне воде су настале од поливања и прања саобраћајница, регулисаних токова, јавних чесми и сл. [8]

Табела 1.2. Типичан састав индустријских отпадних вода [8]

Врста индустрије	pH, mg/l	TCC, mg/l	BPK, mg/l	HPK, mg/l	TDS, mg/l	Уља и масти mg/l
Индустрија млека	4	12150	14000	21100	19000	320
Индустрија квасца	5.3	540	2100	3400	3500	9
Конзервирање воћа и поврћа	5.5	2200	800	1400	1270	94
Текстила индустрија	6	1800	840	1500	17000	155
Индустрија папира	8	1640	360	2300	1980	–
Индустрија пића	9	760	620	1150	1290	–

Табела 1.3. Типичан састав отпадне воде из домаћинства [8]

Састав	Концентрација (mg/l)		
	висока	средња	Ниска
Укупан суви остатак	1200	720	350
Укупан растворени остатак	850	500	250
Минерални	(525)	(300)	(145)
Органски	(325)	(200)	(105)
Укупне суспендоване материје	350	220	100
Минералне	(75)	(55)	(20)
Органске	(275)	(165)	(80)
Таложне материје	20	10	5
ВРК ₅	400	220	110
Укупан органски остатак	290	160	80
НРК	1000	500	250
Азот (N)	85	40	20
Органски N	(35)	(15)	(8)
NH ₄	–	–	–
NO ₃	–	–	–
Фосфор (P)	15	8	4
Органски P	(5)	(3)	(1)
Неоргански P	(10)	(5)	(3)
Хлориди	100	50	30
Алкалност (CaCO ₃)	100	100	50
Масти и уља	150	100	50

2. Мембрански процеси у третману вода за пиће и отпадних вода

У Србији количине подземних и површинских вода за сада су довољне за потребе у производњи хране, али је неопходно да се она рационално користи и да се примене све препоручене мере за очување и побољшање њеног квалитета.

Технолошке операције издвајања одређених компонената приликом контакта две флуидне фазе одвијају се у различитим типовима конвенционалних постројења као што су куле и колоне са испуном или механичким мешањем. У последњих неколико деценија приметан је развој мембранских сепарационих процеса који у различитим индустријским процесима све више замењују поменута конвенционална постројења. У поређењу са конвенционалним сепарационим процесима, мембрански процеси омогућавају већу ефикасност издвајања жељених компоненти и униформну дистрибуцију флуидног тока на улазу и уређај без додатних елемената.

У општем случају мембрански процеси су сви они процеси који се одвијају на мембрани или посредством ње. У те процесе спадају процеси засновани на селективној пропустљивости мембране, затим биолошки процеси који изводе ензими или микроорганизми имобилисани у њој.

Мембрански процеси спадају у сепарационе процесе у којима се у основи врши пренос материје из једне у другу фазу.

Код мембранских процеса између компонената и система гас/гас, течност/течност и гас/течност међупродукт две флуидне фазе остварује се коришћењем или микропорозним мембранама или танког мембранског филма као међуфазе. Тиме је омогућена знатно већа међуфазна површина по јединици запремине и већа ефикасност издвојене количине супстанце него код конвенционалних метода. Међу контакт две флуидне фазе, код конвенционалних процеса, често има нежељене ефекте као што су појава велике количине пене, мала количина флуида у контакту, појава емулзија и плављења.

Класични мембрански процеси који се примењују у сепарационе сврхе могу се поделити у неколико група у зависности од величине честица које се издвајају и погонске силе између флуидних струја. Тако су у широј индустријској примени процеси:

- реверзне осмозе (РО),
- нанофилтрације (НФ),
- ултрафилтрације (УФ),
- микрофилтрације (МФ),
- дијализе (хемодијализе),
- електродијализе.

Класификација мембранских процеса врши се према погонској сили насталој као резултат разлике концентрација, притиска, температура или електричних потенцијала неке супстанце присутне у два флуида при контакту преко мембране. Погонска сила настала као разлика притисака постоји у процесима микрофилтрације, ултрафилтрације, нанофилтрације, реверзне осмозе, гасне сепарације и первапорације. У мембранским процесима дијализе и дифузионе дијализе издвајање компонената се врши услед разлике концентрација, док је у процесима електродијализе присутна разлика електричних потенцијала.

Табела 2.1. Класификација мембранских процеса према погонској сили [8]

Разлика потенцијала	Мембрански процеси
Разлика хидростатичких притисака	Микрофилтрација
	Ултрафилтрација
	Реверзна осмоза
Разлика концентрација	Дијализа
	Процеси са течним мембранама
Разлика електрохемијског потенцијала	Електродијализа
Разлика парцијалних притисака	Первапорација
	Мембранска дестилација

Као резултат интензивних истраживање у овој области, развијени су и објашњени нови мембрански сепарациони процеси као што су: первапорација, гасна пермеација, гасна и течна пертракција, мембранска апсорпција и десорпција. Дефинисана су и нова конструкцијска решења мембранских уређаја (модула), нове врсте мембранских система (мембранске каскаде), као и нове врсте различитих типова мембрана.

Мембрански сепарациони процеси изазвали су велико интересовање због могућих различитих области примене. Ефикасна примена мембранских процеса позната је на пољу очувања животне средине, добијања пијаће воде из морске воде, уклањање штетних гасова и издвајање компоненти које се тешко могу сепарисати применом конвенционалних сепарационох процеса, при третману прехранбених и фармацеутских производа и за друге потребе. Овако широка примена објашњава се ниском потрошњом енергије, лакоом заменом дотрајалих елемената, уређаји су мањих димензија и преносиви. Апарати, опремљени мембраном као сепарационом баријером, не производе никакав отпад и на пољу сигурности система потпуно су безбедни [8].

Поред основних процеса мембранске сепарација, принципи рада и област примена приказани су у табели 2.2:

Табела 2.2. Основни процеси у мембранској сепарацији: принцип рада и примена [8]

Сепарациони процес	Тип мембране	Погонска сила	Метод сепарације	Област примене
Микрофилтрација	Симетрична микропорозна мембрана, са пречником пора од 0,5 до 5 μm	Разлика хидростатичких притисака од 0,1 до 1 bar	Механизам сита на основу величине пора и адсорпција	Стерилна филтрација, пречишћавање
Ултрафилтрација	Асиметрична микропорозна мембрана, са пречником пора од 0,003 до 0,1 μm	Разлика хидростатичких притисака од 0,5 до 5 bar	Механизам сита	Сепарација микромолекуларних раствора
Нанофилтрација	Асиметрична мембрана	Разлика хидростатичких притисака од 5 до 15 bar	Механизам сита	Сепарација јона метала
Реверзна осмоза	Асиметрична мембрана	Хидростатички притисак од 20 до 100 bar	Растварање – дифузиони механизам	Сепарација соли и микрорастворљивих састојака из раствора
Дијализа	Симетрична микропорозна мембрана, са пречником пора од 1 до 10 μm	Градијент конценрације	Дифузија	Сепарација соли и микрорастворљивих састојака из микромолекуларних раствора
Електродијализа	Мембране за катјонске и анјонске размењиваче	Градијент електричног потенцијала	Наелектрисање и величина честица	Десалинизација јонских раствора
Сепарација гасова	Композитне и порозне мембране	Хидростатички притисак и градијент конценрације	Растворљивост, дифузија	Издвајање из смеше гасова
Са течним мембранама	Микропорозне мембране	Хемијски градијент и градијент потенцијала	Дифузија раствора путем носеће фазе	Сепарација и конценрација јона метала и микроорганизама
Мембранска дестилација	Микропорозна мембрана	Градијент притиска поре	Довођење паре на хидрофобну мембрану	Добијање ултрачисте воде и концентрованих раствора
Первапорација	Асиметрична мембрана	Градијент парцијалног притиска поре од 0,001 до 1 bar	Растварање – дифузиони механизам	Сепарација органских састојака

2.1 Развој мембранских процеса

Феномен осмозе откривен је 1748. год. од стране француског физичара Nollet-а који је открио својство воде да спонтано дифундује преко мембране (направљене од свињске бешике) у раствору алкохола. Траубе, немачки хемичар је тек после више од сто година вршио експерименте са синтетичким мембранама.

Мембрански процеси уведени су у индустријску примену у првој половини 20. века, знатно касније него прва забележена мембранска технологија. Примена микрофилтрације и ултрафилтрације започела је у лабораторијским постројењима у Немачкој, док су хемодијализа за пречишћавање људске крви (вештачки бубрег) и електродијализа за десалинизацију слане воде и добијање пијаће воде остварени у Холандији, односно САД. Даљим истраживањима развијени су процеси реверзне осмозе за уклањање соли из морске воде и ултрафилтрације за издвајање и концентровање макромолекула протеина из сира, млека и сурутке. Развијена је и примена микрофилтрације за стерилизацију и уклањање бактерија из фармацеутских и медицинских производа, вина, пива и безалкохолних пића. Бројна истраживања су допринела развоју индустријских постројења за уклањање водоника у гасним сепарационим процесима, као и развоју мембранских дестилационих процеса концентровањем водених раствора.

Примена мембранских процеса данас је широко заступљена у хемијској, петрохемијској, нафтној, фармацеутској, прехрамбеној, текстилној и електронској индустрији, индустрији папира и боја, заштити животне средине и медицини. У технологији производње лекова, хране, пића, папира, текстила, воде за пиће, ултра чисте воде, третману отпадних вода и отпадних гасова, користе се различити мембрански процеси.

Табела 2.3 Развој и примена мембранских процеса [8]

Мембрански процес	Држава	Година	Примена
Микрофилтрација	Немачка	1920	Лабораторијско коришћење (бактеријски филтер)
Ултрафилтрација	Немачка	1930	Лабораторијско коришћење
Хемодијализа	Холандија	1950	Вештачки бубрег
Електродијализа	САД	1955	Издавање соли (десалинизација)
Реверзна осмоза	САД	1960	Десалинизација морске соли
Ултрафилтрација	САД	1960	Издавање макромолекула
Гасна сепарација	САД	1979	Уклањање водоника
Мембранска	Немачка	1981	Концентровање водених раствора
Дестилација	Немачка,	1982	Дехидратација органских
Первапорација	Холандија		растварача

2.2 Преглед мембранских уређаја

У табели 2.4 дат је преглед мембранских уређаја, њихових карактеристика, својства мембранских материјала и кратак увид у могућности њихове примене.

Табела 2.4 Преглед мембранских уређаја [8]

Материјал мембране	Дебљина зида мембрана (μm)	Величина пора (nm)	Погонска сила
– порозне (хидрофобне/хидрофилне) – непорозне (композитне/густе) мембране	20 – 100	макропоре > 50 мезопоре 20 – 50 микропоре < 2	– разлика концентрација, – разлика притисака, – разлике температура, – разлика електричних потенцијала
Примена мембранских уређаја			
Гасно – течни	Течно – гасни	Течно – течни	
– издвајање SO ₂ , CO ₂ , CO, NO _x из горивих гасова, – издвајање CO ₂ и H ₂ S из природног гаса, – пренос O ₂ (аеробна ферментација, обогаћивање крви кисеоником) – транспорт CO ₂ (пића), – уклањање испарљивих органских компоненти (VOC), – издвајање NH ₃ из ваздуха.	– испарљиви биопроductи (алкохоли), – отклањања O ₂ из воде	– сепарација тешких метала, – ферментациони productи (сирћетна киселина, лимунска киселина, млечна киселина), – сепарација фенола.	

2.3 Основни принципи и параметри мембранских процеса

Помоћу мембранских уређаја сепарација компонената се постиже деловањем специфичне погонске силе успостављене преко мембране између две фазе на супротним странама. Овакво конструкцијско решење омогућује транспорт супстанције у системима гас/течност или течност/течност без дисперзије једне фазе унутар друге.

Мембрана је физичка препрека помоћу које је остварена супстанцијална (честична) сепарација и бржи и лакши пренос једне компоненте у односу на другу услед разлике у физичким и/или хемијским својствима између мембране и компоненте која се издваја. Коефицијент преноса супстанције зависи и од типа изабране мембране чије карактеристике треба да омогуће што је могуће веће вредности издвајања супстанције у процесу.

Мембрански уређаји омогућавају одређени облик међуфазне површине између два флуида у контакту, који зависи од конструкцијског решења модула и структуре

мембранских влакана, за разлику од конвекционалних сепарационих постројења где је та површина произвољног облика.

Мембрански уређаји имају бројне предности у поређењу са конвекционалним дисперзно – фазним контакторима. У њима не постоји плављење при високим протоцима, радне карактеристике остају непромењене при ниским протоцима, није потребна разлика густина флуида у контакту, карактеристично је одсуство емулзије, као и велика површина контакта.

Мембрана је главни део у свим мембранским процесима и баријера између две флуидне струје. Дефинисана је као пропустљиво селективна преграда између две хомогене фазе. Она може бити танка или дебела, а по структури: непорозна, микропорозна или макропорозна са одређеним флуидом у порама.

2.4 Ток струјања флуида у односу на мембрану

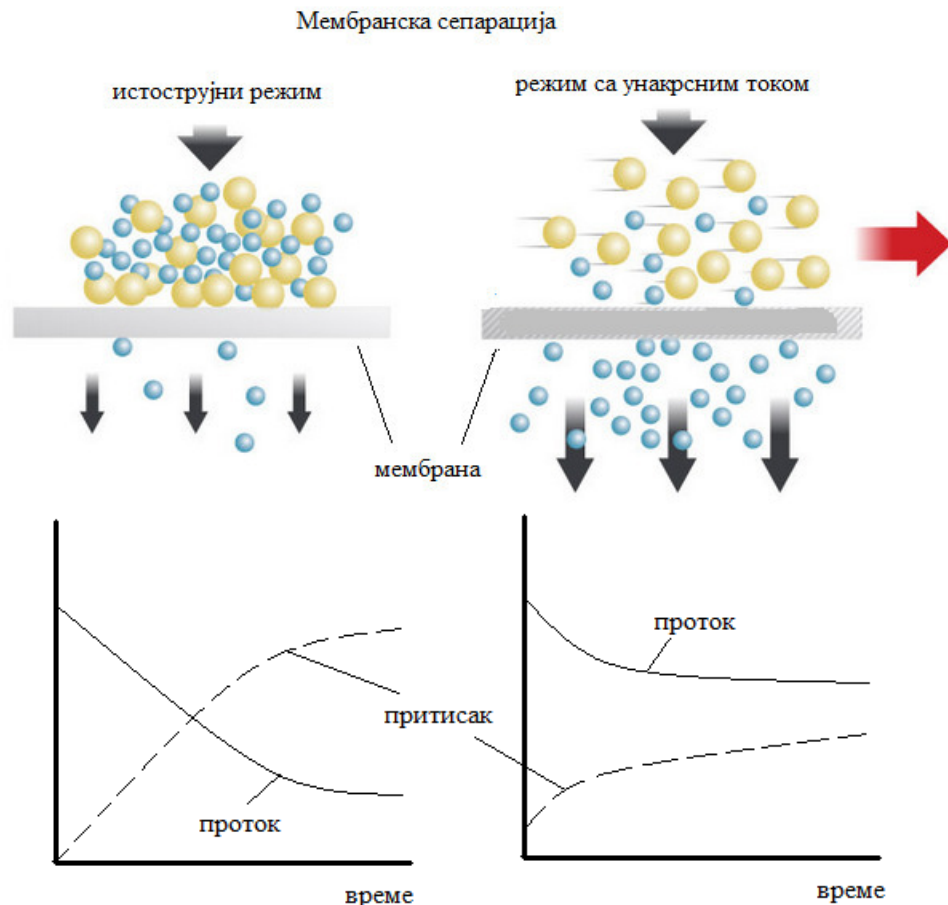
Код мембранских процеса струјање флуида може бити:

- истострујно (статичко) и
- са унакрсним током (динамичко).

На слици 2.1 дат је приказ истострујног режима и режима са унакрсним током, као и дијаграм зависности протока флуида у току времена, у зависности од дебљине наслага нечистоћа на мембрани.

Код истострујног режима течност са суспендованим честицама се проводи кроз мембрану при чему се честице веће од отвора пора задржавају на мембрани што повећава хидраулични отпор. Током времена се ствара све већи прекривајући слој на површини мембране, што условљава опадање протока филтрата и постепено до потпуног запушавања мембране и престанка процеса.

Ако при максимално дозвољеној разлици притисака, опадне проток филтрата испод минималне прописане вредности, мембрану треба очистити или променити.



Слика 2.1 Приказ мембранске сепарације са истострујним и унакрсним током[8]

Истострујни режим користи се код течности које су незнатно загађене.

Градијент притиска кроз мембрану (дефинисан као трансмембрански пад притиска) је погонска сила процеса. Трансмембрански пад притиска се одређује као разлика притисака на страни напојног тока и притиска филтрата према излазу:

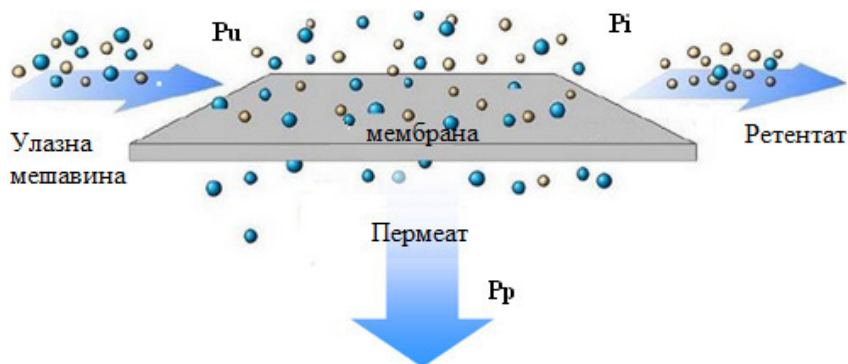
$$\Delta p = p_U - p_P, [8]$$

Код режима са унакрсним (или попречним) током, флуид са суспендованим честицама тече дуж мембране тангенцијално, брзином од 0,5 до 5 m/s, док кроз мембрану пролази очишћена течност. Суспендоване честице заостају у тангенцијалном току, чиме се спречава формирање наслага на мембрани. Поред тога ствара се сила смицања дуж мембранске површине која спречава неиздвојене компоненте да формирају талог.

Део тока који пролази кроз мембрану назива се пермеат, а други део тока који је тангенцијалан у односу на мембрану и у коме заостају честице, назива се ретентат или концентрат.

На слици 2.2 дата је принципијелна шема мембранске сепарације са унакрсним током уз издвајање пермеата (чисте течности) у једном правцу и концентрата – ретентата (загађујућих компонената) у другом правцу.

Најважнији фактор који утиче на пролаз компоненти кроз мембрану је брзина попречног струјања доводне флуидне мешавине. Попречни ток се може остварити различитим конструкцијским решењима модула и усмеравањем струјања фаза. Могуће је остварити истосмерно и супротносмерно струјање, односно попречно струјање полазне мешавине са мешањем пермеата и струјање полазне мешавине и пермета са сталним мешањем обе фазе.



Слика 2.2 Шема токова пермеата и ретентата код режима са унакрсним током

Према томе, у унакрсном режиму рада разликујемо два пада притиска:

1. Пад притиска дуж мембране настао услед отпора мембране, тзв. аксијални пад притиска:

$$\Delta p = p_U - p_I, [8]$$

2. Пад притиска кроз мембрану, тзв. трансмембрански пад притиска, који је уједно погонска сила мембранске филтрације:

$$\Delta p = \frac{p_U + p_I}{2} - p_P, [8]$$

где су:

p_U – притисак на улазу, p_I – притисак на излазу, p_P – притисак пермеата.

2.5 Концетрациона поларизација

Основни постулат режима рада са унакрсним струјањем је да се услед протицања флуида, честице, макромолекули и јони одржавају у суспензији, односно да се не издвајају на мембрани, а да се због велике брзине протицања (велика сила смицања), и оне материје које су се ипак издвојиле на мембрани уклоне са ње и врате у ретентат. Наравно, то је у идеалном случају.

Постављање мембране нормално на ток резултирало би тако брзим стварањем наслага на мембрани, поготово у случају реверзне осмозе и електродијализе, тако да би врло брзо процес сепарације био заустављен. У пракси долази до издвајања суспендованих честица и/или молекула раствора на мембрани и код режима рада са унакрсним струјањем, из више разлога: мембрана и поред турбулентног режима, “кочи” слој флуида уз саму њену површину (у том случају остварује се ламинарно кретање и самим тим се остварују услови за издвајање суспендованих честица и раствора), уз саму површину мембране се повећава концентрација честица/растворка (C_B на слици 2.3.) јер се део тока издваја кроз мембрану. Та појава је названа **концентрациона поларизација**, приказана на слици 2.3., а слој накупљен на мембрани зове се **гел слој**.

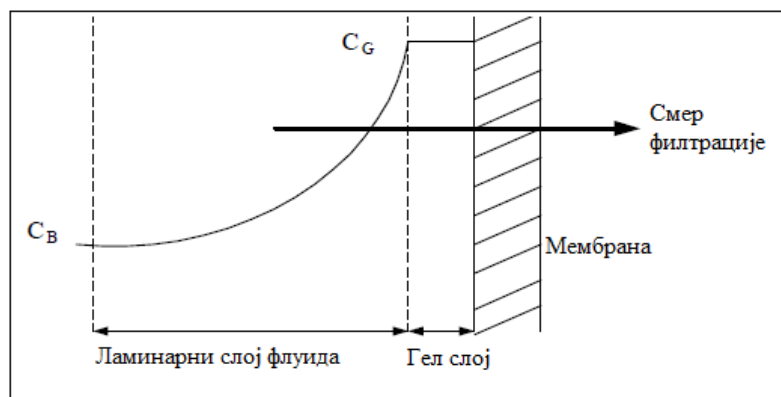
На стварање гел-слоја утиче: величина пора у мембрани, величина суспендованих честица/молекула раствора и силе на површини мембране које доводе до задржавања честица и молекула раствора мањих од пречника пора у мембрани. Флукс пермеата зависи од услова концентрационе поларизације.

Осим што драстично смањује флукс пермеата, а тиме и капацитет датог процеса мембранске сепарације, формиран гел – слој се понаша као мембрана, односно на правој мембрани имамо сад нову, секундарну “мембрану”. Због свега тога, тежи се да се концентрациона поларизација, пошто се већ не може избећи, смањи колико је могуће.

Постоји низ поступака, а главни су: одржавање мале вредности флукса и одржавање минималне разлике концентрација компоненти у суспензији/раствору и на површини мембране. Мала вредност флукса се постиже повећањем површине мембране.

Смањивање разлике у концентрацији компоненти у флуиду и у гел – слоју може се постићи и одржавањем довољно велике брзине протицања флуида преко мембране, чиме се остварује турбуленција флуида која држи компоненте у суспензији/раствору.

Графички приказ појаве која се назива концентрациона поларизација дат је на слици 2.3.



Слика 2.3. Концентрациона поларизација [8]

C_G – концентрација компоненте у гел слоју,

C_B – концентрација компоненте.

2.6 Предности и недостаци мембранских уређаја

Примена мембранских уређаја има низ предности али постоје и неки недостаци и нежељени ефекти које је потребно решити да би се проширило њихово комерцијално коришћење.

Неке од битних предности примене мембранских уређаја су:

- при вишим и нижим протоцима две флуидне струје у процесу, њихова површина контакта остаје непромењена због тога што су флуидни токови независни један од другог. Ова карактеристика је веома значајна у постројењима где се захтева јако висок или низак однос растварач/сирови флуид,
- сепарационе особине мембрана дозвољавају примену мембранских уређаја у процесима са флуидима једнаких густина,
- у оваквим уређајима емулзија није присутна због одсуства дисперзије у контакту флуид/флуид,
- конструкцијска решења постројења омогућавају њихово функционисање у широком опсегу капацитета и промена протока флуида,
- мембрански уређаји немају покретне делове у поређењу са конвенционалним колонама,
- примена нових уређаја постиже суштински вишу ефикасност у односу на дисперзивне контакторе,
- пропорционално увећање мембранских операција је скоро линеарно те је предвиђање повећања капацитета могуће додавањем мембранских модула,
- површина контакта је позната и константна што олакшава предвиђање и одређивање карактеристичних величина у поређењу са конвенционалним контакторима са диспергованим фазама у којима је много теже одредити међуфазну површину.

Са друге стране, ови уређаји имају одређене недостатке којих је знатно мање у односу на предности:

- мембрана представља још једну препреку преноса супстанце која не постоји у конвенционалним колонама. Међутим, овај отпор може бити понекад занемарен и постоје начини да се исти смањи,
- мембрана је осетљива на честа задрљања што узрокује зачепљења уз смањену ефикасност преноса супстанце.
- мембране имају и одређени радни век тако да поред високих инвестиционих трошкова изискују и трошкове њихове замене што захтева додатна разматрања о примени мембранских уређаја.

Предност мембранских уређаја, поред одређених мана, чине ове уређаје много погоднијим и поузданијим за примену у поређењу са конвенционалним уређајима.

2.7 Типови и карактеристике мембранских процеса за пречишћавање воде

Мембрански процеси се могу поделити према области примене односно врсти и величини честица које се уклањају.

У поступцима пречишћавања воде врши се уклањање микроорганизама, тешких метала, минерала, органских материја и разних хемијских једињења који су у воду доспели природним путем или деловањем људских активности. За пречишћавање воде најчешће се користе различити конвенционални поступци који не могу увек да испуне захтеве потребног квалитета воде.

Примена мембранских процеса у третману вода подразумева пре свега припрему воде за пиће, као и припрему воде за коришћење у одређеним индустријама (фармацеутској, прехранбеној, хемијској, електронској и др). Мембранским пречишћавањем воде, може се добити чиста вода ослобођена од минерала, тешких метала и њихових једињења, нитрата, органских материја и микроорганизама.



а)

Велич. честица	Ревверзна осмоза	Нанофилтрација	Ултрафилтрација	Микрофилтрација
Моларна маса	<0.001μm <100g/mol	< 0.01 - 0.001 μm <100 - 1000g/mol	0.1 - 0.01 μm 1000 - 500000 g/mol	> 0.6 μm >500000 g/mol

б)

Слика 2.4. Примери сепарације појединих компоненти мембранским процесима [8]

Системи за мембранско пречишћавање воде састоје се од: предфилтера, модула са одговарајућим мембранама, пумпи за стварање одговарајућег притиска, регулационих вентила за одржавање сталног притиска у модулу, цевних система, вентила и мерно регулационе опреме.

За процес мембранске сепарације није потребно никакво довођење топлоте, нити у току процеса долази до било какве фазне промене, што значи да је енергија која се троши, заправо енергија која је потребна за достизање притиска напојне воде до њене одређене вредности.

Ефикасност неког уређаја зависи пре свега од квалитета примењених мембрана, односно од њихове селективности и продуктивности.

При мембранском пречишћавању воде карактеристично је мало присуство додатних нежељених нус – продуката, па је из тог разлога ово један од еколошки најприхватљивијих и све чешће коришћених поступака пречишћавања воде.

Табела 2.5. Типови и карактеристике мембранских процеса за пречишћавање вода[8]

Процес	Величина пора (µm)	Могућност сепарације	Притисак (bar)	Примена
Реверзна осмоза	< 0,001	Растворене соли и молекули супстанци мале молекулске масе	7 – 70	Десалинизација морске воде, пречишћавање отпадних вода, припрема воде за пиће, прехрамбена индустрија
Нанофилтрација	0,008 – 0,001	Двовалентни јони метала, вишевалентни јони, молекули мале молекулске масе	5 – 15	Водоснабдевање, пречишћавање отпадних вода за потребе водоснабдевања
Ультрафилтрација	0,003– 0,1	Честице, неки вируси, бактерије, растворене материје	0,5 – 5	Водоснабдевање, пречишћавање отпадних вода, млекарска инд., инд. пића, фармацеутска инд., сепарација воде од сирове нафте, сепарација екстракта воћа и поврћа
Микрофилтрација	0,05 – 5	Колоиди, протозое	0,5 – 3	Пречишћавање отпадних вода, предтретман у пречишћавању вода, прехрамбена индустрија и индустрија боја

Табела 2.6 Ефикасност уређаја за уклањање загађивача воде (према критеријуму Светске здравствене организације) [8]

Супстанце које се уклањају	Филтер са vlakнима	Филтер са активним угљем	Реверзна осмоза	Јоно – измењивач	Дестила –ција	УВ дезинфек– ција
Назиријум	–	–	++	++	++	–
Арсен	–	–	++	++	++	–
Олово	–	–	++	++	++	–
Кадмијум	–	–	++	++	++	–
Калијум	–	–	++	++	++	–
Сулфати	–	–	++	++	++	–
Тврдоћа (ca)	–	–	++	++	++	–
Тврдоћа (mg)	–	–	++	++	++	–
Нитрати	–	–	++	++	++	–
Хлориди	–	–	++	–	++	–
Фекалне бактерије	–	–	++	–	++	++
Вируси	–	–	++	–	++	++
Протозое цисте*	++	–	++	–	++	+
Органске матери.	–	++	++	–	+	–
ТНМ, ТНЕ**	–	++	++	–	+	–
Хлор	–	++	++	–	+	–
Пестициди	–	++	++	–	+	–
Седимент мат.	++	+/-	++	–	++	–
Боја и укус	–	++	++	–	–	–
Азбест	++	–	++	–	++	–

Легенда: – без ефекта, +/- редукује делимично, + добро уклања, ++ веома добро уклања, *захтева филтер са РО за ефикасно уклањање, **ТНМ – трихалометани и ТНЕ – трихалоетилен

2.7.1 Микрофилтрација (МФ)

Микрофилтрација представља мембрански сепарациони процес заснован на селективној пропустљивости мембране, који покреће разлика притисака. Користи се за издвајање крупних колоидних честица из течности, као и микроорганизама. Често се микрофилтрација дефинише као мембранско бистрење воде.

Конфигурације мембрана које се производе за коришћење у сепарационом поступку микрофилтрације су цевасте, са шупљим влакнима, спиралне и плочасте мембране.

Микрофилтрација је процес који се одвија под ниским притиском и који доводи до сепарације крупних честица из водених раствора помоћу средстава као што су полупропустљиве мембране.

Овај процес се остварује тако што улазна вода која се филтрира тече дуж површине мембране и при томе се налази под релативно ниским притиском. Пратеће нечистоће у води одлазе са струјом тока и не акумулирају се на површини мембране. Значи, микрофилтрација се користи за уклањање – сепарацију крупних суспендованих честица као што су честице квасца, неке бактерије, пигменти, црвена крвна зрнца, микроплазма, колоиди, уљне емулзије, емулзије латекса као и неки протеини и ензими. Величина пора мембрана је $0.05 - 5\mu\text{m}$ [8].

Мембране за микрофилтрацију су пројектоване за cross-flow сепарацију, где се улазна струја тока уводи у мембрански елемент под притиском и прелази преко мембранске површине у контролисаној путањи тока. Cross-flow мембранска филтрација користи веће брзине унакрсног тока ради повећавања пермеата и смањења могућности запушавања мембрана.

Примена микрофилтрације укључује пречишћавање отпадних вода, где се поред издвајања чврстих честица може користити и за одстрањивање фино диспергованих уља у отпадној води, као и замена за процесе коагулације – флокулације – седиментације и филтрације као предtretман у конвекционалном пречишћавању вода, у прехранбеној индустрији и индустрији боја. На пример, у пречишћавању вина и тамних сокова (као што су бруснице, црвене боровнице), микрофилтрација се користи за сепарацију суспендованих честица из сока ради добијања чистог или слабо мутног сока док дозвољава пролаз боји, шећеру и укусу. Поред тога, често се микрофилтрација користи и као предtretман сирове воде за филтрацију на НФ и РО мембранским системима.

2.7.2 Ультрафилтрација

Конфигурације мембрана које се производе за коришћење у сепарационом поступку ултрафилтрације су цевасте, са шупљим влакнима, спиралне и плочасте мембране.

Као и микрофилтрација, ултрафилтрација је процес који се одвија под ниским притиском и који доводи до сепарације крупних честица из водених раствора помоћу средстава као што су полупропустљиве мембране. Задржавају се емулзије латекса, неке уљне емулзије, честице чађи, честице шећера, ендотоксини, вируси, колоиди, неки ензими и протеини, као и неке топлјиве соли. Величине пора су од 0,003 – 0,1 μm . Пермеат је чист раствор (није мутан) без суспендованих честица [8].

Већина мембрана које се производе за процесе ултрафилтрације за индустријску примену су пројектоване за cross-flow сепарацију, где се улазна струја тока уводи у мембрански елемент под притиском и прелази преко површине мембране при чему је путања протока воде контролисана. Као и код микрофилтрације део улазне воде пролази кроз мембрану и он се назива пермеат док се остале честице материје избацују заједно са струјом воде и тај део се назива концентрат. Cross-flow мембранска филтрација користи веће брзине унакрсног тока ради повећавања пермеата и смањења могућности запушавања мембрана.

Ради уклањања бактерија и вируса у процесу ултрафилтрације може се рећи да се мембране са шупљим влакнима веома често користе. При томе су могућа два начина: један пролаз воде или рецикулација воде. Такође, мембране са шупљим влакнима имају способност повратног испирања, где се филтрирана вода потискује унатраг кроз мембрану ради уклањања нагомилаваних честица на површини мембране.

Ултрафилтрација налази примену у водоснабдевању, пречишћавању отпадних вода, млечној индустрији, индустрији пића, фармацеутској индустрији, сепарацији воде од сирове нафте, као и сепарацији екстракта воћа и поврћа.

2.7.3 Нанопилтрација

Мембране које се производе за нанопилтрацију (НФ) су цевасте, спиралне и плочасте конфигурације. Одликују се задржавањем неких честица шећера, топлјивих соли, ендотоксина, као и двовалентних јона метала, три и више валентних јона, молекула мале молекулске масе, вируса. Пропушта моновалентне соли, воду, киселину и алкалне компоненте. Величине пора су од 0,008 – 0,001 μm [8].

Може се рећи да је нанопилтрација процес који се одвија под ниским до умерено високим притиском, при чему моновалентни јони пролазе слободно кроз мембрану, док мембрана значајно одбија вишевалентне соли и молекуле мале молекулске масе. Типична примена нанопилтрације је у водоснабдевању, пречишћавању отпадних вода за потребе водоснабдевања, у процесима омекшавања воде, као и у одсољавању и прерађивању киселих раствора.

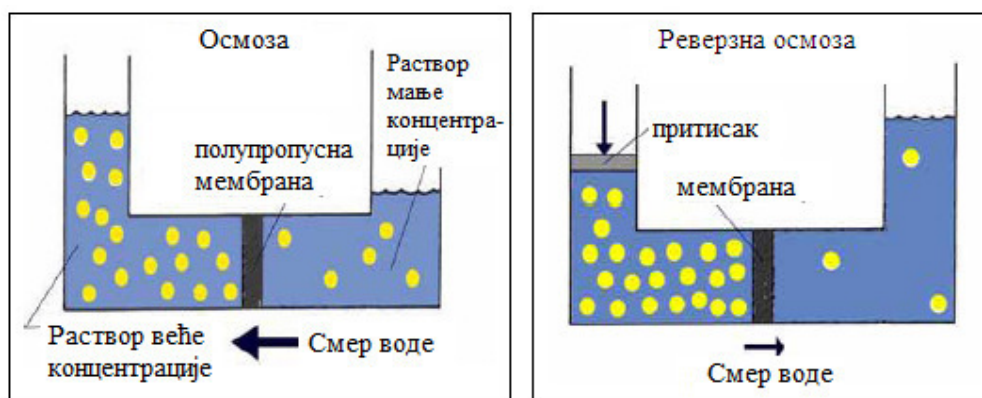
Нанопилтрација је активан процес сепарације честица из воденог раствора преко полупропустљиве мембране помоћу притиска. Овај процес се одвија тако што водени раствор тече дуж површине мембране под притиском. Cross-flow мембранска филтрација користи веће брзине унакрсног тока ради повећавања пермеата и смањења могућности запушавања мембрана. Раствор могуће сепарације као што су нпр., растворене соли, напушта процес у струји тока не нагомилавајући се на површини мембране.

Иако се величина пора у НФ мембранама не може видети ни под једним микроскопом, вода ће и даље пролазити кроз мембрану, док ће се вишевалентне соли и молекули мале молекулске масе одбијати од мембране. Веома је тешко предвидети успех НФ мембране, посебно уколико у раствору постоје више од три растворљиве компоненте, док мембрана одбија под утицајем величине честица, структуре и оптерећења (садржаја) компонената у раствору. Као резултат, може се рећи да је препорука за коришћење НФ мембрана у сваком смислу, чак иако нам је на располагању споредна анализа воде за напајање.

2.7.4 Реверзна осмоза

Под појмом реверзне осмозе, данас се у пракси углавном подразумевају они процеси сепарације раствора код којих под дејством спољњег хидростатичког притиска, већег од равнотежног осмотског притиска раствора, долази до наглог протицања растварача у правцу раствор – чист растварач, кроз полупропустљиву мембрану, којом су раствор и чист растварач физички раздвојени. Смер овог протицања је супротан (тј. реверзан) смеру протицања растварача који би се под истим условима, само без спољашњег хидростатичког притиска (тј. спонтано) остварио код класичне осмозе: са места вишег ка месту нижег хемијског потенцијала, тј. у правцу растварач – раствор, те је на основу ове изразито уочљиве разлике и изведен назив овог процеса сепарације – “РЕВЕРЗНА ОСМОЗА”.

Може се рећи да је РО мембрана срце целог уређаја и управо је она заслужна за постизање високог нивоа квалитета прочишћене воде. Интересантно је рећи да је овај начин пречишћавања воде преузет од биљака, које из средине са мањим унутрашњим притиском, као што је земља, црпе хранљиве материје и преносе их преко полупропусних мембрана до задњег листа на њиховом врху. Ради лакшег разумевања, може се рећи да процес реверзне (обрнуте) осмозе означава поступак висококвалитетног механичког пречишћавања воде унакрсним током, кроз полупропусне мембране. Основа процеса реверзне осмозе су полупропусне мембране унакрсног тока, чије су поре величине $0,001\ \mu\text{m}$, што омогућава пролаз само чистој води. Оне одбацују широк спектар нечистоћа из воде, користећи једино притисак у водоводној инсталацији. У унакрсном току, довод воде подељен је у два одвојена тока: “пробојни” који пролази кроз мембрану и “концентрисани” који задржава и одводи суспендовани раствор растворених честица које нису прошле кроз мембрану. Предност пројектовања унакрсног тока су самопречишћавање, мали захтеви за енергијом, као и прецизно раздвајање течности на нивоу јона, молекула и макромолекула, што омогућава физичко одвајање чисте воде од оне која то није.



Слика 2.5. Феномен осмозе и реверзне осмозе

У осмотској мембрани одвија се обрнут процес. Отвори на полупропусној осмотској мембрани су толико ситни да задржавају највећи део нечистоћа из воде, чак и молекуларне спојеве. Најмања позната бактерија је величине $0,2\text{ }\mu\text{m}$, а најмањи вирус $0,002\text{ }\mu\text{m}$, док је отвор на полупропустљивој мембрани $0,001\text{ }\mu\text{m}$. Из ове компарације је очигледно да ни вирус ни бактерија не могу проћи кроз отвор на мембрани. Значи, може се рећи да реверзном осмозом као сепарационим процесом у поступку прераде воде за пиће се издвајају: растворене соли, молекули супстанци мале молекулске масе, тешки метали, хлор, каменац, органске материје, радиоактивне материје, вируси, бактерије, гљивице итд. Њена примена је углавном заступљена у десалинизацији морске воде, пречишћавању отпадних вода, у припреми воде за пиће, као и у прехранбеној индустрији.

2.7.5 Електродијализа

Електродијализа спада у електрохемијске мембранске процесе, са полупропустљивом мембраном за јоне у зависности од њиховог електричног наелектрисања. Она користи електричну струју за редукцију (смањење) јонског садржаја воде.

Електричном пољу које се при овом процесу јавља, сразмеран је проток кроз мембрану. Коришћењем директног потенцијала, јони растворених материја у води се уклањају из раствора помоћу јоноселективних мембрана.

Електродијализа се заснива на коришћењу два типа мембрана које имају различиту пропустљивост и које су наизменично постављене. Катоде и аноде електроде постављају се на страни одговарајуће мембране у циљу спровођења већине јона кроз мембране. Још у простору за деминерализацију јони путују ка одговарајућој електроди у складу са својим наелектрисањем. При том пролазе кроз мембрану која је пропустљива за њих и за коју они представљају јоне супротне по знаку њеним фиксним наелектрисањима.

Пошто се катјони крећу у смеру електричног поља, а анјони у супротном смеру, раствори се деминерализују, односно у укупном збиру остају електронеутрални.

Раствор који се пречишћава губи постепено растворене супстанце и излази ослобођен од минерала.

Ефикасност електродијализе зависи од концентрације растворених материја у улазној води, затим од температуре, протока и електричне струје.

Органске материје и слабо наелектрисане неорганске материје не уклањају се електродијализом.

Поред електродијализе у електрохемијске мембранске процесе спадају и електролиза и електросинтеза.

2.7.6 Дијализа

Дијализа је мембрански сепарациони процес у коме погонску силу представља разлика концентрације растворених компоненти са обе стране мембране. Овај процес се користи за издвајање природно растворивих састојака који дифундују кроз мембрану. Основна разлика између процеса дијализе и реверзне осмозе је у погонској сили. Код реверзне осмозе растворени састојци се задржавају на мембрани, а растварач пролази кроз њу. У односу на претходно описане мембранске процесе дијализа се користи само за издвајање супстанци, али не и за њихово концентрисање. У процесу дијализе погонска сила тј. градијент концентрације не подлеже спољним утицајима. Разлика притисака са обе стране мембране при дијализи зависи само од осмотског притиска и служи само за спречавање појаве било каквог додатног тока у супротном смеру од дијализе.

За процес дијализе користе се fino порозне и симетричне мембране, углавном од целулозног ацетата. Поре су величине од 1 до 10 μm . Проток супстанце кроз мембрану је одређен брзином дифузије у идеалном случају без конвекције течности у порама мембране. Поред процеса дијализе је фина сепарација растворених састојака и то је један од разлога широке примене ове методе у области медицинске технологије. Пример за то је вештачки бубрег.

2.8 Материјали за израду мембрана

Почевши од касних 1950-их када је почела прва примена синтетичких мембрана па до данас, остварена су значајна унапређења у развоју мембранских материјала, метода за ливење мембрана, конструкције мембранских модула и контроле квалитета производње мембранских компоненти.

Синтетичке мембране се производе од различитих органских полимера или од неорганских материјала као што су стакло, керамика или метали. Мада се већина познатих полимера може користити за прављење мембрана, само неки од њих се могу користити за производњу мембрана које се користе за третман воде за пиће. Целулозни ацетат (ЦА), најчешће два и три ацетати, су међу првим полимерима који су коришћени за производњу РО мембрана. Главна предност ЦА мембрана је у њиховој хидрофилности, отпорности на хлор, ниској цени производње и малој тенденцији адсорпције. Са друге стране, ЦА мембране су осетљиве на киселу и алкалну хидролизу, температуру и биодеградацију. Релативно велика дебљина ЦА мембрана чини да су порозни канали кроз мембрану дугачки, што условљава повећање хидрауличких губитака при проласку воде кроз мембрану и трансмембранске притиске.

Полиамиди су такође често коришћен полимер за производњу мембрана које се употребљавају за процесе десалинизације (РО мембране). Поред тога што су изузетно хидрофилне, мембране од полиамида су мање осетљиве на хемикалије и температурне промене. Главна мана ових мембрана је њихова екстремна осетљивост на оксидансе и осетљивост на дејство хлора чак и у најмањим концентрацијама.

Полисулфон и полиетерсулфон су често коришћени полимери за производњу мембрана и поред тога што нису хидрофилни и што имају тенденцију адсорпције. Оба материјала имају одличну хемијску, механичку и термалну стабилност. Користе се за производњу УФ мембрана и као подлога за танко филмне композитне мембране.

Хидрофобни полимери као што су полиетилен, полипропилен, политетрафлуороетилен или поликарбонат су због њихове изузетне хемијске и термалне отпорности често коришћени полимери за производњу макро порозних МФ мембрана. Главни недостатак овог материјала је осетљивост на хлор.

Данас најчешће употребљавани материјали за производњу РО и НФ мембрана су композитни полимери. Ове мембране се праве полимеризацијом једног реактивног мономера или приполимера са другим реактивним мономером. Процес полимеризације се одвија на површини УФ мембране. УФ мембрана се потапа у водени раствор који садржи први мономер или приполимер, а затим се поново потапа у други раствор који садржи други реактивни мономер. На овај начин се на површини УФ мембране (само са једне стране) формира веома танак филм (50 μm) са ситним порама док основа мембране задржава високу порозност наслеђену од УФ мембране. Главна предност овако направљених танкофилмних (ТФ) композитних мембрана је у смањеном трансмембранском притиску, изузетној хемијској, термичкој и механичкој стабилности и отпорности на биодеградацију. Међутим, посебна пажња се захтева при пројектовању мембранских система са овим мембранама, из разлога што су танкофилмне композитне мембране осетљиве на хлор.

Мембране од неорганских материјала имају знатно бољу хемијску, термичку и механичку стабилност у односу на мембране направљене од органских полимера.

Међутим, висока цена производа и ломљивост (кртост) таквих мембрана ограничавају њихову примену само на поље хемијске индустрије за изузетно агресивне флуиде на високој температури. Новије примене керамичких мембрана су усмерене ка микрофилтрацији за сепарацију микроорганизама из биолошки пречишћених вода (замена за секундарни таложник) и ка пречишћавању вода од прања пешчаних филтера.

2.9 Мембрански модули, конфигурација и склопови

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, од димензија пора и електрохемијских својстава мембране, као и од физичко – хемијских интеракција између мембране и растворених материја.

Основна мембранска јединица у којој је смештена одређена површина мембранског платна и која је припремљена за уградњу у већу компоненту мембранског система је **мембрански елеменат или модул**. Један мембрански елеменат се састоји од мембране, кућишта које прима притиске и обезбеђује ослањање елемента и спојница за прикључак сирове воде, испуста за концентрат и одвода пречишћене воде.

Облик мембране и конструкција модула треба да обезбеђује:

1. потпуну заштиту мембране од негативних последица утицаја високог притиска,
2. што већу површину мембране у што мањој запремини модула,
3. ефикасно уклањање издвојених честица са површине мембране, на страни концентрата, путем испирања, ради обезбеђивања сталног и непромењеног тока воде кроз мембрану.

Постоје четири врсте мембранских елемената (модула):

- плочасти модул,
- цевни модул,
- модул са шупљим влакнима,
- спирално намотани модул.

Плочасти модул

Серије равних мембранских површина и плоча које обезбеђују њихово ослањање смештене су у такозвани плочасти модул. У њему вода циркулише између две мембране ослоњена на плоче које истовремено обезбеђују дренажу чисте воде. Концентрат прелази из једног рама у други, док се не достигне жељена концентracија.

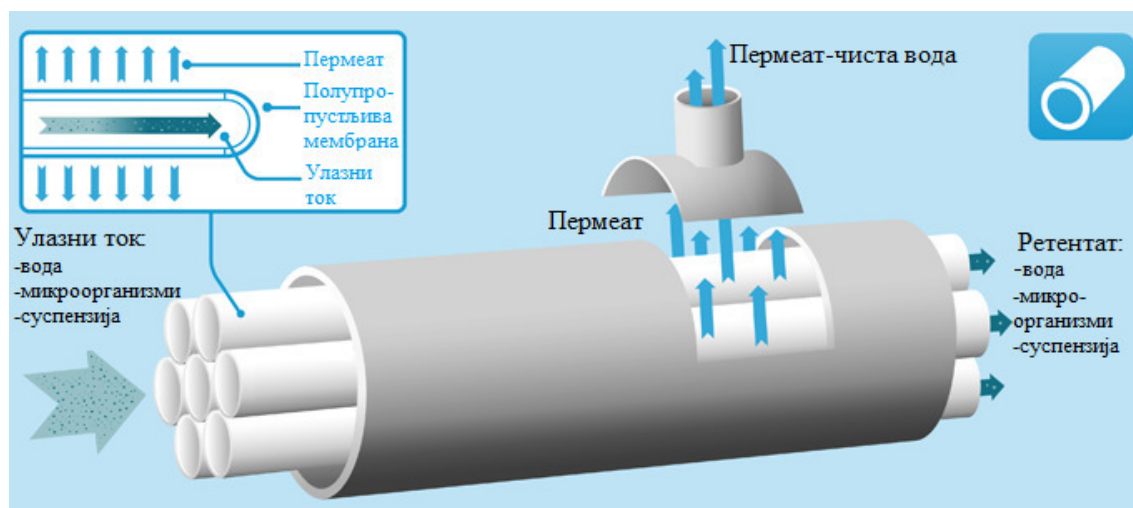
Плочасти модули омогућавају паковања таква да се по јединици запремине модула добије укупна површина за филтрацију у износу од $100 \text{ m}^2/\text{m}^3$ до $400 \text{ m}^2/\text{m}^3$.

Пошто су једноставни са становишта одржавања, плочасти модули се често користе за лабораторијска истраживања док им је практична примена ограничена због недовољне компактности.

Овакви модули су погодни за растворе са великом количином чврсте фазе (отпадне воде из прехранбене индустрије), јер се лако отварају, чисте и дезинфикују. Недостатак ових модула је неповољан однос површине и запремине мембрана, сложеност и цена.

Цевни модули

Цевни модули су најједноставнија конфигурација мембранских елемената. Праве се тако што се са унутрашње порозне цеви, која служи као подлога, улије мембрански материјал. Пречник цеви се креће од 6 mm до 40 mm, што даје филтрациону површину мембране од 0,2 до 7,5 m²/m³.



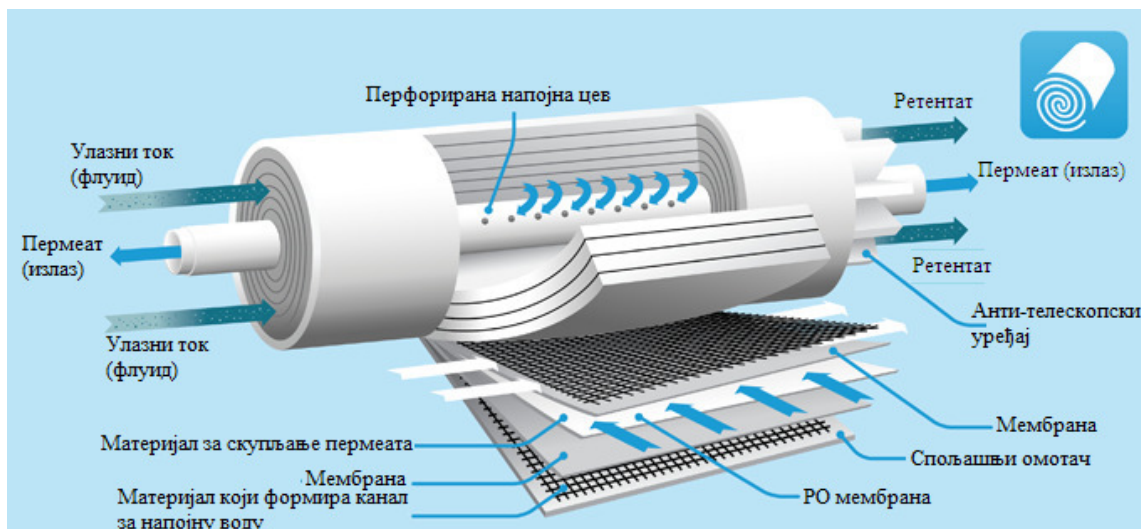
Слика 2.6. Цевни модул [10]

Више цевних модула (3 – 150) се групише у једну процесну јединицу која има потребне елементе за напајање сировом водом и за одвођење концентрата пречишћене воде. Главна предност ових модула је потпуно јасна хидраулика, лако и једноставно чишћење и одсуство потребе за посебним предтретманом сирове воде. Главна мана је у малој филтрационој површини по јединици запремине модула што чини системе са овим типом модула релативно скупим.

Спирално намотани модули

Спирално намотани модули су састављени од два правоугана мембранска платна која су раздвојена са трећим платном од порозног материјала. Три ивице овог такозваног “мембранског сендвича” су залепљене, док је четврта ивица залепљена за једну шупљу цев са подужним прорезом. Цео “мембрански сендвич” је намотан спирално око ове цеви тако да она заузима централни положај, док сендвич састављен од мембрана и порозног платна чини омотач мембранског елемента. Овако сачињени модули се

стављају у специјалне цеви од плексигласа које имају по један отвор на оба краја. Један отвор служи за напајање сировом водом, док други служи за испуштање концентрата.



Слика 2.7. Пресек спирално намотаног модула [10]

Ток воде за време пречишћавања је паралелан са осом цеви, а тиме и паралелан са спирално намотаним слојевима мембране. Пречишћена вода улази у зону порозног материјала између мембранских платна. Пошто је притисак у централној цеви мањи од притиска сирове воде, пречишћена вода се дренира у централну цев одакле се одводи у сабирни систем пречишћене воде.

У комерцијалним мембранским системима који се примењују у пречишћавању вода, мембрански елементи се пакују паралелно или се нижу један за другим у веће процесне јединице које се у случају РО и НФ мембрана називају кућишта. Кућишта су специјално обликоване цеви које омогућавају струјање сирове воде, испуштање концентрата, одвод пречишћене воде, прикључење потребних инструмената и могу да приме већи број (од један до седам) серијски или паралелно монтираних мембранских елемената. Кућишта се пројектују тако да могу да издрже високе притиске који се захтевају за филтрацију кроз мембране. У почетку су кућишта била прављена од нерђајућег челика. Данас се као стандардни материјал користи полиестер за кућишта која се праве за потребе РО и НФ мембранских система.

Више кућишта се групишу у још веће јединице, мембранске батерије. Кућишта унутар једне батерије могу да имају паралелан или серијски распоред, или што је најчешћи случај, могу да буду комбинација ова два распореда. Паралелан распоред се најчешће користи за УФ и МФ филтрацију где због система прања, рецикулација концентрата није неопходна да би се остварило захтевано пречишћавање.

Модули са шупљим влакнима

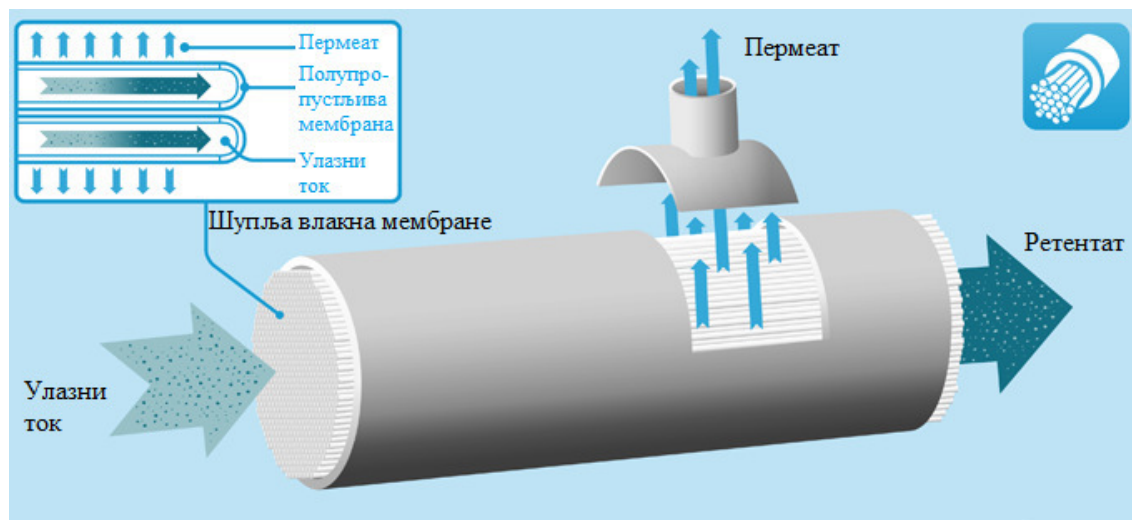
Модули са шупљим влакнима се састоје од снопова мембранских влакана (од хиљаду до милион) чији су крајеви уливени у епоксидне смоле. Модул са шупљим влакнима приказан је на слици 2.8. На слици је приказано увећано шупље влакно тако да се види шупљина у влакну и порозно влакно. У зависности од смера филтрације постоје два типа модула са шупљим влакнима односно два типа филтрације:

- споља – ка – унутра,
- унутра – ка – споља.

Код првог типа филтрације, споља – ка – унутра сирова вода се доводи у простор између влакана кроз које се филтрира. Пречишћена вода испуњава простор у влакнима одакле се одводи посебним цевима, док концентрат излази на други крај снопа који је исто тако уливен у епоксидне смоле да не би дошло до мешања са пречишћеном водом.

Други тип модула са мембранским влакнима се прави тако да се сирова вода уводи у простор шупљег влакна, а да пречишћена вода испуњава шупљине између мембранских влакана одакле се одводи у сабирне цеви чисте воде. Ово је такозвани унутра – ка споља тип филтрације.

На слици 2.8 дат је шематски приказ кроз мембрански модул са шупљим влакном као и крајеви модула уливени у епоксидне смоле. УФ модули са шупљим влакнима имају укупну површину по јединици запремине од $1000 \text{ m}^2/\text{m}^3$, док РО модули могу да имају чак и до $10\,000 \text{ m}^2/\text{m}^3$.



Слика 2.8. Модул са шупљим влакнима [10]

2.10 Параметри ефикасности мембранских система

Ефикасност одређеног мембранског система зависи од механизма уклањања суспендованих и растворених материја. На пример, уклањање честица на МФ мембранама је углавном физички процес где велике колоидне честице једноставно не могу да прођу кроз поре МФ мембрана. Насупрот томе, уклањање непожељних супстанци у јонском и молекуларном облику на РО мембранама је углавном функција различите интеракције између супстанци и мембране у односу на електрохемијску привлачност између воде и мембране. Са друге стране, уклањање крупних колоидних честица на РО мембранама је чисто физички процес и електрохемијска интеракција нема значајног утицаја. На крају, у зависности од специфичне ситуације, НФ и УФ мембране могу да користе у већој или у мањој мери један или други механизам уклањања.

Флукс, мада се молекулска тежина често користи да изрази ефикасност одређене мембране за уклањање честица одређене величине је стварна мера ефикасности производње пречишћене воде, односно количина воде која се исфилтрира по јединици површине мембране у јединици времена. По дефиницији, флукс је директно пропорционалан трансмембранском притиску, а обрнуто пропорционалан вискозности течности која се филтрира (што је у овом случају вода) и хидрауличким отпорима течењу кроз поре мембране. Величина трансмембранског притиска је функција осмотског притиска раствора који се филтрира и количине нагомиланих честица на површини мембране.

Флукс пермеата директно одређује капацитет процеса, и зато је битно да вредност флукса буде што већа.

Изрази за флукс пермеата (F) у случају микрофилтрације дат је следећом једначином:

$$F = \frac{\Delta p \cdot \beta}{\mu \cdot l}$$

где су: F ($\text{l/m}^2 \cdot \text{h}$) – флукс,

Δp (bar) – пад притиска кроз мембрану (трансмембрански притисак),

β (l/m^2) – пропустљивост гел слоја,

μ ($\text{kg/m} \cdot \text{s}$) – вискозитет флуида,

l (m) – дебљина гел слоја.

Изрази за флукс пермеата (F) у случају ултрафилтрације и реверзне осмозе дат је следећом једначином:

$$F = \frac{A \cdot (\Delta p - \Delta \pi)}{\Delta X}$$

где су: F ($\text{l/m}^2 \cdot \text{h}$) – флуks,

A ($\text{l/h} \cdot \text{m} \cdot \text{bar}$) – константа која зависи од особина мембране, флуksа и раствора,

Δp (bar) – трансмембрански притисак,

$\Delta \pi$ (bar) – разлика осмотских притисака флуида и пермеата,

ΔX (m) – дебљина мембране.

На основу дефиниције флуksа, ефикасност мембрана је функција бројних параметара који карактеришу саму мембрану и квалитет сирове воде која се доводи на пречишћавање. У битне карактеристике мембране убрајају се њене површинске карактеристике и величина пора. Иако се на први поглед може очекивати да мембране са ширим порама имају већи флуks, дебљина мембране је исто тако важан параметар јер се може десити да танка мембрана са ситнијим порама има већи флуks од дебље мембране са крупнијим порама. Такође, распоред и величине пора треба да одговарају величини супстанце која се жели издвојити, што захтева селективност и изузетну пажњу при одабиру мембране за конкретне услове пречишћавања.

Карактеристике површине мембране и карактеристике материјала од којег је направљена мембрана (површинско наелектрисање, адсорпциони потенцијал, поларност и друге карактеристике) имају значајан утицај при уклањању јонских и молекуларних честица на РО и НФ мембранама. Наелектрисана површина мембране привлачи и фиксира различите и супротно наелектрисане честице из сирове воде. Њихово нагомилавање формира танак филм на површини мембране, такозвани концентрационо поларизовани слој, који мења филтрационе карактеристике мембране и смањује флуks пречишћавања.

Адсорпција контаминаната на зидове пора повећава отпор филтрацији и смањује флуks у јединици времена. Специфичност овог проблема је у томе што је веома тешко ослободити поре мембрана од адсорбованих материјала што доводи до трајног смањењења флуksа филтриране воде, па и до оштећења мембранских елемената.

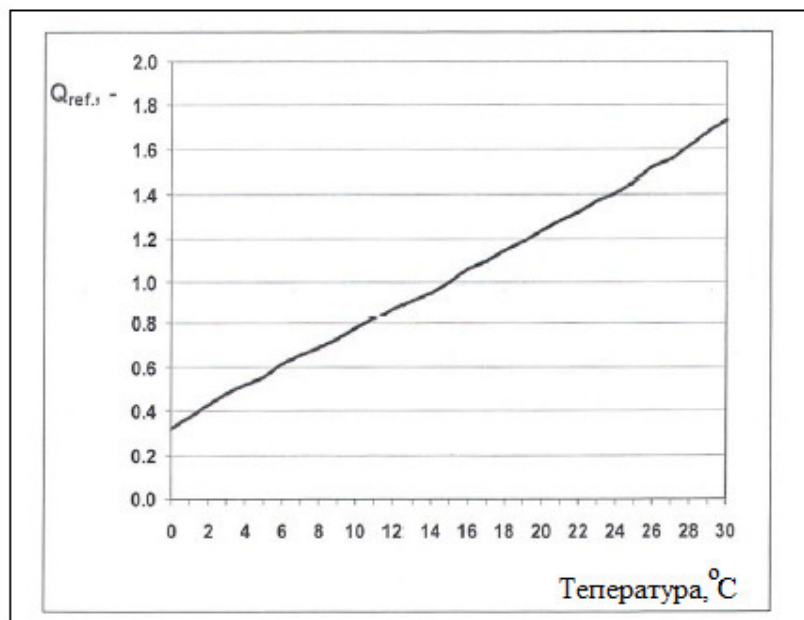
Остали важни параметри који утичу на ефикасност пречишћавања на РО и НФ мембранама су: брзина тока флуида, притисак, температура, концентрација соли.

Брзина тока флуида: са порастом брзине тока флуида дуж мембране расте флуks. Турбулентни режим струјања, при већим брзинама тока, доприноси смањењу дебљине гел слоја, али са порастом брзине тока расту и хидраулички отпори. Самим тим прогресивно расту и трошкови покретања флуида, односно трошкови рада пумпи.

Трансмембрански притисак: пораст флукса кроз мембрану директно је пропорционалан порасту хидрауличког притиска на доводу сирове воде. Са порастом притиска такође расте и коефицијент уклањања соли, са тим што је функција пораста коефицијента уклањања соли експоненцијална. У једном моменту пораст коефицијента уклањања соли престаје да прати пораст повећања притиска због повећаног осмотског притиска концентрата (који смањује ефективни трансмембрански притисак) и то представља гранични капацитет мембране.

Температура мења вискозна својства воде, а тиме и дифузивност растворених материја кроз материјал мембране у филтрирану воду са знатно нижом концентрацијом соли. Због тога са повећањем температуре долази до смањења коефицијента уклањања соли и погоршања квалитета филтрата, односно пречишћене воде. Са друге стране флукс се повећава скоро линеарно са повећањем температуре, не само због смањења вискозитета флуида већ и због повећања коефицијента дифузије. Отвори на РО мембранама су реда величине $10^{-3} - 10^{-4} \mu\text{m}$ и код њих је ефекат промене вискозитета значајан са снижењем температуре расте вискозитет, а тиме и трење.

Код мембранских филтрација, микрофилтрација, ултрафилтрација, па чак и нанофилтрација, ефекат промене вискозитета воде која се филтрира са температуром није значајан, јер је ефективни пречник отвора и сувише велики.



Слика 2.9. Дијаграм зависности референтног протока од температуре

На дијаграму на слици 2.9. је приказана зависност референтног протока ($Q_{ref.}$) од температуре воде код РО мембрана. Као референтна температура обично се дефинише 15°C (ређе 20°C) и у односу на проток на тој температури се посматрају сви остали.

Тако, на пример, на 20°C капацитет филтрације на РО мембранама је око 20% већи него на референтној температури од 15°C, односно на 10°C за 25% мањи него на референтној.

Концентрација и тип соли у сировој води директно утиче на повећање осмотског притиска тог раствора који треба надвладати хидрауличким притиском да би уопште дошло до филтрирања воде кроз мембрану. Због тога се при константном трансмембранском притиску флуks пречишћавања, и коефицијент уклањања соли смањује са повећањем концентрације соли у сировој води, рН вредност. Толерантност мембрана на промену рН вредности воде је различита и зависи од материјала од кога је мембрана направљена. Генерално је утврђено да ТФ (танкофилмне композитне) мембране толеришу шири опсег промена вредности рН до ЦА (целулозноацетатних) мембрана, чиме је обезбеђена већа флексибилност при експлоатацији. Утицај промене рН вредности на флуks пречишћавања и коефицијент уклањања соли је занемарљив за практичну примену у водоснабдевању.

На крају могу се навести мере ефикасности мембрана у пречишћавању воде:

- **Флуks** је мера ефикасности производње пречишћене воде. Флуks је количина течности (воде) која прође кроз јединицу површине мембране у јединици времена. Димензија флуksа је $l/(m^2 \cdot h)$.
- **Коефицијент пречишћавања** (пропустљивости) је однос између протока воде која је прошла кроз мембрану и протока сирове воде. Изражава се у процентима. Коефицијент пречишћавања представља проценат пречишћене воде која се добија филтрирањем кроз мембрану у односу на сирову воду.
- **Коефицијент уклањања соли** (односно било које супстанце) је однос између разлике концентрације одређене супстанце у сировој води и пречишћеној води према концентрацији исте супстанце у сировој води. Коефицијент уклањања соли представља проценат супстанце уклоњене филтрацијом кроз мембрану.
- **Коефицијент проласка соли** је разлика између 100% и коефицијента уклањања соли. Коефицијент проласка соли означава проценат супстанце која је из сирове воде прошла кроз мембрану.
- **Коефицијент редукције соли** је однос између концентрације одређене супстанце у води пре филтрирања кроз мембрану према концентрацији исте супстанце у пречишћеној води.

2.11 Одржавање мембрана

У току процеса мембранске филтрације, честице различитих супстанци из сирове воде се депонују у слоју воде у близини мембране, на површини мембране и у самој мембрани блокирајући, делимично или потпуно поре мембрана. Депоновани материјал повећава хидрауличке отпоре филтрације и смањује флукс пречишћавања. Запушавање мембране се може делимично или потпуно елиминисати испирањем са чистом водом или чишћењем хемијским средствима. На тај начин се флукс делимично или скоро потпуно враћа на почетни ниво. Губитак флукса који се не може повратити било прањем или хемијским чишћењем је перманентни (иреверзибилни) губитак, док се губитак који се може повратити назива привремени (реверзибилни) губитак флукса.

Перманентни губитак флукса је углавном функција одржавања и услова експлоатације мембране. Мембране изложене екстремним оптерећењима, као што су високи притисци и концентрације, показују тенденцију ка већем трајном губитку флукса од мембрана које су биле изложене умереним оптерећењима. Такође, редослед примењених хемикалија за време хемијског чишћења може да има утицаја на величину перманентног губитка флукса пречишћавања. Са циљем да се експлоатациони век мембранског елемента максимизира неопходно је прилагодити режим експлоатације специфичним захтевима произвођача мембране.

Генерално постоје три облика зачепљивања мембране:

1. формирање делимично компактног слоја (коре) од наслага неорганских и различитих органских материја на површини мембране,
2. стварање слоја каменца на површини мембране,
3. адсорпционо зачепљивање пора мембране.

Проблем зачепљивања мембрана је углавном предвидив на основу такозваног индекса густине муља SDI (Silt Density Index), Langelier-овог индекса или на најсигурнији начин, на основу пилот истраживања којима се утврђују методе заштите, предтретмана и чишћења мембрана:

– Компактна кора на површини мембране се састоји од ситних честица муља, глине и других неорганских колоида. Биолошке компоненте компактне коре укључују живе и изумрле микроорганизме. Компактност коре је највећа при самој мембрани, да би са удаљавањем од мембране опадала и на извесној удаљености од мембране добила конзистенцију колоидног гела који се на крају потпуно губи у струји сирове воде.

Индикатори постојања компактне коре на површини мембране су опадање ефектног притиска за филтрацију воде кроз мембрану, опадање флукса и повећање садржаја соли у пречишћеној води. Повећање садржаја соли у пречишћеној води је због чињенице да је услед повећања трансмембранског

притиска на мембрани кроз компактну кору и мембрану пролазе једино мали молекули натријума због чега долази до повећања садржаја соли у пречишћеној води.

– Формирање слоја каменца на површини мембране је последица повећања концентрације јона соли у сировој води преко границе растворљивости. Повећање концентрације соли може да буде последица филтрације, тј. смањења количине воде из тока сирове воде која раствара исту количину соли. Уобичајени елементи за формирање каменца су калцијум, магнезијум, баријум, гвожђе и други метали. Индикатори присуства каменца на површини мембране су, слично као и у претходном случају, опадање ефективног притиска, опадање протока пречишћене воде и повећање садржаја соли у пречишћеној води нарочито у последњој етапи пречишћавања.

– Адсорпционо зачепљивање мембрана је углавном последица адсорпције различитих растворених органских материја из сирове воде. Чак и у малим концентрацијама, хуминске киселине и друге природне органске материје могу да имају много већег утицаја на адсорпционо зачепљење мембрана од неорганских колоида. Поред адсорпционог зачепљивања, присуство органских материја као што су полифеноли, протеини, полисахариди и други, могу да повећају кохезивност компактне коре формиране од неорганских колоида. Индикатори адсорпционог зачепљивања мембране су слични индикаторима за претходно описане типове зачепљивања мембране.

2.12 Прање и чишћење мембрана

У решавању проблема запушења мембране постоје и примењују се две стратегије: превентива и чишћење (прање). Превентива подразумева одабир адекватног типа мембране за одговарајући квалитет воде и обезбеђивање потребног предтретмана који ће обезбедити ефикасно искоришћење мембрана и адекватно управљање и одржавање система. Без хемијског предтретмана каменац и друге материје на површини мембрана би захтевале њихово учестало чишћење. Тиме би се смањио век трајања мембранских модула што би непотребно увећало експлоатационе трошкове система.

Пилот испитивања су најпоузданији начин да се одабере адекватан тип и конфигурација мембране за специфичну примену, да се дефинише предтретман и параметри рада и одржавања мембранске инсталације. Уобичајено је да се пилот испитивања реализују у две етапе. У првој етапи се врши одабир мембране док се у другој етапи дефинишу остали параметри. За генералну поставку пилот инсталације користе се искуства са других сличних инсталација.

Испирање мембрана пречишћеном водом, а понекад чак и сировом водом, може у значајној мери да уклони неорганске нечистоће које се концентришу као компактна

кора на површини мембране. За уклањање каменца и компактне коре додатно појачане присуством органских супстанци или оне настале са микроорганизмима, мембране се чисте одговарајућим хемикалијама. Учесталост чишћења се дефинише дозвољеним повећањем притиска кроз мембрану, повећањем концентрације соли у пречишћеној води или падом протока пречишћене воде. За РО и НФ мембранске системе стандард је да се систем пере увек када трансмембрански притисак преко мембране порасте за више од 15%, или када се концентрација соли у пречишћеној води повећа за више од 5%, или када коефицијент пречишћавања падне за више од 10%.

Процедура чишћења обухвата:

- припрему раствора (раствор се припрема на лицу места додавањем потребних количина киселина и база),
- пражњења концентрата из система,
- рецикулација раствора за чишћење,
- натапање мембрана раствором за чишћење,
- рецикулација под високим притиском,
- испирање мембрана.

2.13 Век трајања мембрана

Век трајања мембране зависи од:

- физичке и хемијске стабилности материјала мембране,
- природе сирове воде која се обрађује,
- начина и учесталости прања и дезинфекције итд.

Век трајања је уз величину флукса, свакако параметар који највише утиче на економику процеса мембранске сепарације, јер је замена мембрана које су скупе, значајна ставка експлоатационих трошкова процеса. На век трајања утичу хемијске промене на самој мембрани, пошто су оне подложне хидролизи. На хидролизу нарочито утичу промене температуре и промене рН до којих долази приликом прања киселим и базним средствима. Временом, као последица великог иреверзибилног прљања, долази до прљања мембрана у толикој мери да се флукс смањи на неприхватљиво ниске вредности, када се оне морају заменити.

Век мембрана се дефинишене од 5 до 10 година, али на изграђеним постројењима за прераду воде се показало да је радни век мембране дужи ако су изабране адекватне мембране и оптимални радни услови [1].

3. Мембрански системи у процесу третмана вода за пиће

Постројење за мембранску филтрацију

Основни делови мембранског постројења – микрофилтрације за пречишћавање површинских и подземних вода су:

1. Механички предтретман воде са задатком да сирову воду ослободи суспендованих честица већих од неколико микрометара које могу механички оштетити површину или поре мембране. У зависности од квалитета сирове воде могу се применити различити поступци. Често се примењују филтерске касете испуњене памуком или целулозним влакнима које су показале високу ефикасност у уклањању суспендованих честица, при чему је њихова цена врло ниска.
2. Хемијски предтретман воде са циљем да онемогући или сведе на најмању могућу меру издвајање каменца на површини мембрана, чиме се њихов експлоатациони век продужава.
3. Пумпе за подизање притиска (како би се обезбедио потребан притисак већи од осмотског).
4. Мембрански елементи груписани у батерије које представљају “срце” система за пречишћавање заједно са пумпама за обезбеђивање потребног улазног притиска.
5. Завршно дотеривање квалитета воде које најчешће укључује декарбонизацију и додавање креча.
6. Дезинфекција.
7. Систем за прање и испирање мембрана који има задатак да уклони нечистоће и каменац са површине мембрана.

3.1 Предтретман

Правилно одабран и добро пројектован предтретман је веома важан за рад мембране. Суспендоване честице морају бити уклоњене из сирове воде пре него што доспеју до мембране, из разлога што могу да изазову каналисање у самој мембрани, неједнаку дистрибуцију воде и озбиљно зачепљење. Индекс густине муља (SDI – Silt density index) је кључан индикатор квалитета сирове воде и мора се редовно контролисати. Он показује количину честица и колоидних материја које садржи вода. Спирално намотани мембрански модули толеришу $SDI = 5$, док модули са шупљим влакнима толеришу $SDI = 3$ или 4.

У случају РО и НФ у предтретману, филтрација је неопходна у случајевима коришћења и површинских и подземних вода. Могу се користити филтери од тканине, нерђајућег челика или фибрегласа са отворима од 5 односно 10 μm .

Хемијски третман је најчешће неопходан у циљу заштите мембране. Сумпорна киселина се обавезно додаје за превенцију таложења CaCO_3 и MgCO_3 . То је метод регулације рН вредности. Углавном се контрола рН вредности поставља и у струји сирове воде и у струји чисте воде после мембранског система. Двострука контрола рН вредности је због сигурности система како не би дошло до трајног оштећења мембране услед незадовољавајуће рН вредности.

Таложење сулфата је теже контролисати од карбоната (најчешће се јављају калцијум, баријум и стронцијум сулфат). У последње време се за контролу њиховог таложења користе синтетски полимери што смањује употребу киселина, а мешалица је такође пожељна у циљу униформне расподеле.

Садржај органских материја и биолошка активност се морају контролисати јер могу изазвати запушења и биолошку деградацију мембране. Хлорисање се у контролисаној количини може користити само код мембранских процеса МФ и УФ.

Површинска вода богата колоидним материјама углавном захтева додатак коагуланата или катјонских полимера пре конвенционалне филтрације, али треба водити рачуна јер алуминијум сулфат и поједини анјонски полимери могу да нашkode мембрани, па се њихово коришћење не препоручује.

Масти и уља такође могу да ослабе рад мембранског система формирајући филм на мембранској површини.

3.2 Мембранске батерије

Да би се повећао коефицијент пречишћавања, односно коефицијент пропустљивости РО или НФ мембранског система и смањила количина концентрата, пречишћавање се врши у две или више етапа (степен).

Већи број кућишта се инсталира у паралелном распореду тако да се сирове вода под истим притиском уводи и филтрира кроз свако мембранско кућиште. Филtrat се одводи у сабирни систем чисте воде, док се концентрат не испушта, већ се уводи као сирове вода у другу групу кућишта која су опремљена истим мембранским елементима. Губитак притиска при протицању сирове воде кроз мембранске елементе прве етапе (првог степена) је мали тако да је притисак концентрата довољан за пречишћавање кроз другу групу мембранских кућишта. Отпадни концентрат из друге групе елемената се одводи у градску канализацију (квалитет концентрата је најпоузданије утврдити пилот истраживањима).

У појединим случајевима чак може бити економично да се систем пројектује у три или више етапа. У случајевима вишестепене УФ и МФ филтрације, преостали притисак након претходне етапе може да буде недовољан за следећу етапу, што може да захтева да се између две етапе постави пумпа за рецикулацију и повећање притиска.

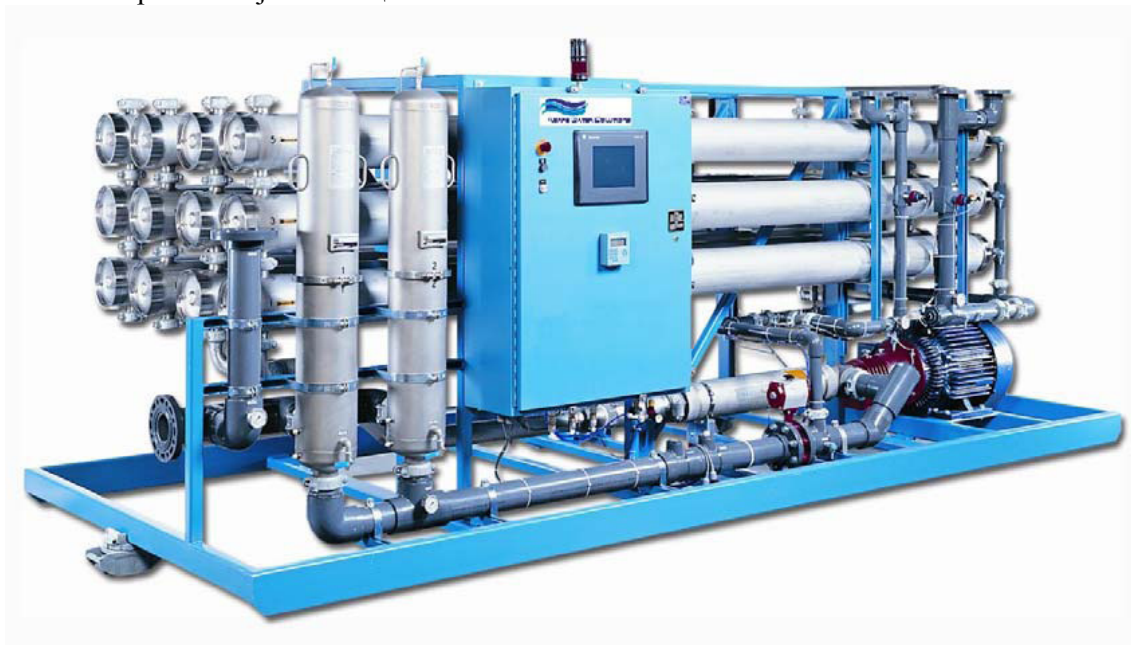
Батерије су опремљене са контролним панелом за управљање, инструментима за праћење квалитета сирове и пречишћене воде, затварачима, цевним везама за одвод сирове воде, одводом пречишћене воде, доводом и одводом хемикалија за прање и испирање. Користе се спирално намотани мембрански модули.

3.3 Посттретман

Третман пречишћене воде на излазу из мембранског система РО и НФ најчешће садржи дегасификацију (декарбонизацију), хлорисање и рН стабилизацију. Због додатка киселине ради спречавања стварања каменца при неутрализацији карбоната долази до стварања значајних количина угљен-диоксида. Процес декарбонизације има за циљ да десорпцијом угљен-диоксида из воде доведе његову концентрацију на одговарајући ниво.

Редукција CO_2 ће подићи рН и помоћи у стабилизацији излазног ефлуента, па ће бити потребне мање количине хемикалија. Дегасификација је потребна и у циљу уклањања водоник сулфида (H_2S) при чему се уклањају непријатни мириси.

Шема једног комплетног мембранског постројења за пречишћавање воде реверзном осмозом приказана је на слици 3.1.



Слика 3.1. Компактно постројење реверзне осмозе [10]

3.4 Искуства и развој у примени мембранских процеса у припреми воде за пиће

Данас су остварена значајна унапређења у развоју мембранских материјала, метода за ливење мембрана, конструкцији мембранских модула и у контроли квалитета производње мембранских компоненти. Најновија истраживања и развој концентрисани су на побољшању мембранских модула, унапређењу површинских карактеристика мембранског материјала, усавршавању метода чишћења и регенерације као и у развоју нових поља и метода примене. Данас у свету, углавном у САД и Јапану, постоји десетак произвођача мембрана који улажу значајна средства у истраживања и развој.

Нови импулс у примени мембрана у припреми воде за пиће у САД дала је законска регулатива кроз захтев за уклањање природних и синтетичких органских материја које води дају боју, мирис и укус и означава присуство прекурсора за стварање трихалометана и халоацетинских киселина, а које се ефикасно уклањају НФ и РО мембранама. Такође, уклањање моновалентних јона соли, двовалентних јона метала, растворених тешких метала и радио нуклеида на нано и РФ мембранама је веома ефикасно. На крају, мембране су успешна баријера за уклањање микроорганизама из воде укључујући протозое, бактерије и вирусе, а што своди употребу хлора за дезинфекцију на минималне дозе. Могућност да се мембране лију и да се њихова површина припрема тако да омогућују селективно уклањање одређених непожељних материја, а да допуштају пролаз пожељних материја или минерала је још једно својство мембрана које их чини веома атрактивним за примену у пречишћавању вода.

Данас у свету постоји више од 12.000 разних мембранских постројења са укупно изграђеним капацитетом од преко 300 m³/s. Већина изграђених система је за десалинизацију морске воде (РО системи) и за уклањање честица из воде (микро и ултра филтрација). За пречишћавање речних и подземних вода са великом концентрацијом растворених соли и растворених материја све је већа примена нанофилтрације или реверзне осмозе ниског притиска. Изградњом нових постројења, укупан капацитет мембранских инсталација повећао се протеклих година геометријском прогресијом.

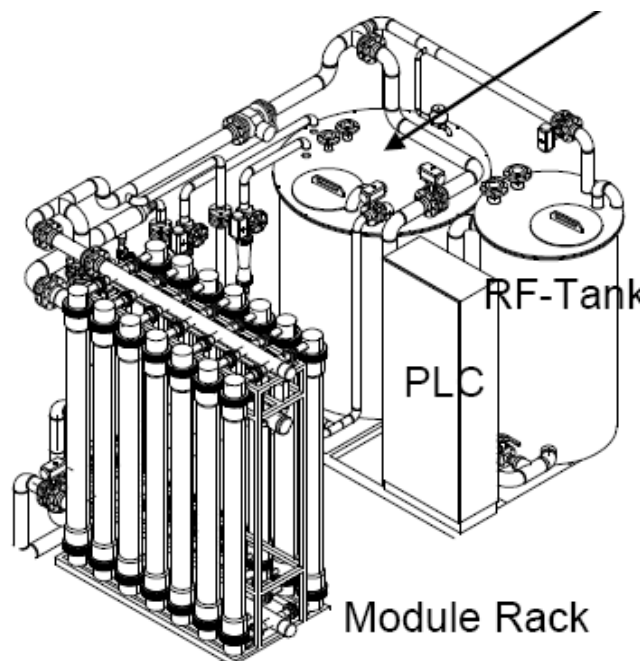
3.5 Опис Pall – овог система за филтрацију

У овом поглављу дат је приказ мембранског система микрофилтрације који користи „Pall Microza“ микрофилтрационе модуле који су уграђени у мембранско постројење у нашој земљи за производњу воде за пиће капацитета 40 l/s у Доњем Милановцу [15].

„Pall Microza“ микрофилтрациони модули су специјално пројектовани за примену у третману вода. Ови модули користе заштићену мембранску технологију на бази

шупљих влакана од ПВДФ (поливинилденефлуорида) са стабилним карактеристикама протока и унапређеним техникама спајања које пружају изузетно чврсту конструкцију модула.

Мембрански систем микрофилтрације „Pall Microza“, третира воду за пиће са великим процентом ефикасности тј. однос пречишћене и непречишћене воде (рецикулација) је 99% (95% пречишћене и 1% – 5% рецикулација). Постројење за микрофилтрацију садржи микрофилтрационе модуле, са носачима и цевима, поред свих потребних пумпи, резервоара, вентила, инструмената и команди које су неопходне за комплетан и функционалан систем. Компактно постројење за микрофилтрацију приказано је на слици 3.2.



Слика 3.2 Компактно "Pall" постројење за микрофилтрацију

Микрофилтрациони модули "Pall" раде у режиму од споља ка унутрашњости, с малом количином рецикулације у већини случајева. Код микрофилтрационих модула, мембране се постављају паралелно смеру довода тако да кроз мембрану пролази искључиво чиста течност. Током филтрације стварају се два излазна млаза: рецикулација (односно вода која се није исфилтрирала и поново се враћа у сирову воду) и филтрат (односно пречишћена вода). Ток напушта модул са горње стране осигурава потпуно искоришћење расположиве површине филтера путем повећања брзине у горњем делу модула и уклањања евентуално присутног ваздуха, односно гасова. Чврсте материје које задржи филтер уклањају се повременим испирањем, односно пнеуматским или хемијским путем.

„Pall“ мембране са шупљим влакнима омогућавају:

- велику површину филтера у модулу,
- малу површину ослањања,
- мали губитак у систему и ефикасну регенерацију.

Због сепарационих карактеристика „Pall Microza“ – модули за микрофилтрацију уклањају:

- честице,
- колоиде,
- микроорганизме,
- вирусе,
- микромолекуле.

3.6 Особине Pall – овог система за микрофилтрацију

„Pall Microza“ микрофилтрациона постројења допуштају третирање воде са великом мутноћом и представљају сигурну баријеру за микроорганизме и спречавају њихово појављивање у пијаћој води у дистрибуцији.

- Отпорност на хемикалије

Мембране су отпорне на хлор што омогућава лаку дезинфекцију мембрана и система. У току чишћења мембране су отпорне на хлор у концентрацији већој од 5.000 mg/l. Препоручује се рад мембране са високим степеном резидуала хлора да би се биофлора свела на минимум и продужило време између два прања хемикалијама.

- Робусност мембране

Модули за мембранску филтрацију су израђени посебном технологијом за израду ПВДФ мембрана са шупљим влакнима. Захтев који је испуњен је добијање веома робусне мембране и отпоран модул.

- Флексибилан рад

Филтрација воде на системима за микрофилтрацију обезбеђује константан квалитет воде без обзира на промену квалитета сирове воде. Због величине пора кроз мембрану могу да се исфилтирају само честице које су мање од пора мембране док све остале честице остају на мембрани. Из тог разлога све што се појави у води, а веће је од пора на мембрани не може се исфилтрирати тј. остаје на површини мембране и скраћује период између два прања мембране.

- Једноставан рад

Систем мембранске филтрације је потпуно аутоматизован због чега је потребан минимални број радника за одржавање система. Задатак оператера је да одржава мембране по прописаним условима.

- Флексибилан дизајн модула

Pall мембрански систем је физички комапактан тако да смањује физичку величину постројења, па самим тим смањује цену постројења. Систем је модуларно пројектован тако да се проширење постројења, ако је потребно, може урадити једноставно додавањем модула. На исти начин, ако је потребно, могу се из рада система искључити неки модули.

3.7 Техничке специфичности мембранских система микрофилтрације

Microza мембрански филтрациони систем има четири базна радна периода:

- филтрацију,
- регенерацију,
- чишћење на лицу места,
- тест интегритета.

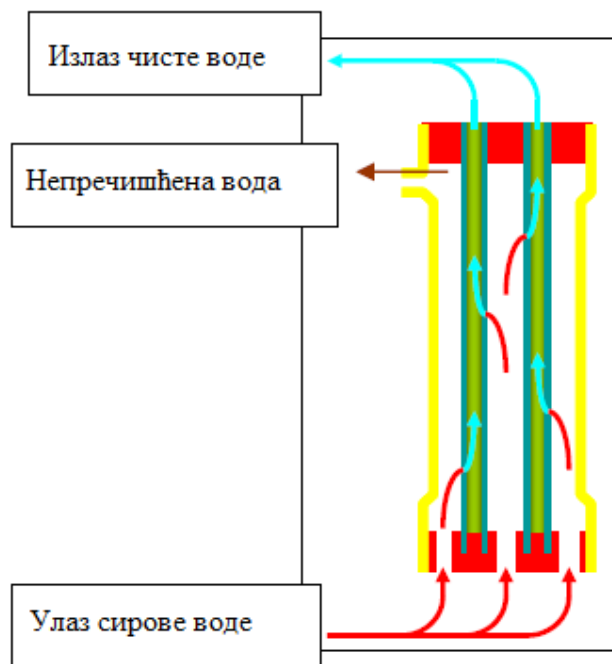
Сваки од ових процеса је описан и шематски приказан.

I) Филтрација

Сирова вода се предфилтрира кроз аутоматски самоиспирајући филтер, пре пумпања сирове воде на мембранске модуле. Сваки мембрански модул се напаја сировом водом на дну модула, у међупростор између мембрана. Вода се под притиском филтрира кроз мембрану, а мала количина непречишћене воде се враћа у резервоар сирове воде. Чиста вода из мембрана се сакупља и одводи у резервоар чисте воде (слика 3.3).

Напајање се регулише тако да је излазни ток филтрираног дела константан. Док вода протиче кроз сваки модул, филтрациона површина шупљег влакна постаје све запрљанија и самим тим се количина исфилтриране воде смањује. Пумпе повећавају проток аутоматски да би се очувао константан проток постројења.

Током филтрирања вода се не губи већ се 99% – 95% воде исфилтрира (чиста вода), а остатак воде 1% – 5% која не прође кроз мембрану се враћа у резервоар сирове воде. Однос филтриране воде и воде која се рециркулише зависи од квалитета сирове воде.



Слика 3.3. Процес филтрације на мембрани са шупљим влакном

II) Регенерација

Мембрански систем је програмиран за аутоматску регенерацију мембранских модула базирану на константном интервалу (обично 10 – 30 минута). Регенерациона техника ваздушно – рибање и реверзни ток воде одржава трансмембрански притисак на радном нивоу и омогућава повећавање размака између два хемијска чишћења модула.

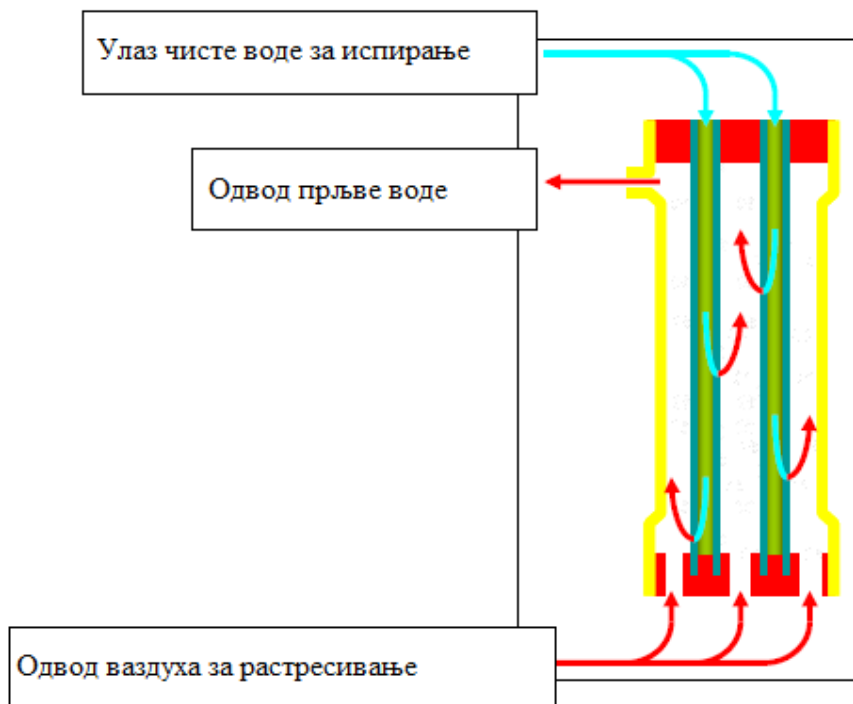
Ваздушно рибање - реверзни ток

Ако се у систему не остварује жељени проток (филтрат), инструмент констатује потребу за убацивањем ваздуха у трајању од 30 секунди у дну модула. Ваздух се убацује док је затворен доток напојне воде на модуле (слика 3.4.).

Након растресања мембрана ваздухом врши се реверзно испирање мембране у трајању од 60 секунди. Чиста вода из резервоара за реверзну филтрацију се пумпама потискује у горњи део мембране, тј. кроз испуст чисте воде. Вода сада иде у супротном смеру филтрације и на тај начин скида нечистоће које су се наталожиле на мембрани.

Одвод воде од прања је у горњем делу мембране тј. поред одвода чисте воде. У циљу дезинфекције мембрана (да не би дошло до развоја микроорганизама) у овом кораку, обично се у воду за реверзно испирање убацује мала количина хлора.

Након искључења реверзног испирања у модул се 20 секунди убацује сирова вода (у доњи део мембране) док је отворен одвод прљаве воде тј. воде од прања мембарна. Сва отпадна вода која се добије у процесу прања шаље се у таложницу за отпадну воду. Након 20 секунди затвара се одвод прљаве воде и сирова вода се поново филтрира кроз мембране. Ваздушним рибањем и реверзним испирањем са површине мембрана могу да се отклоне све наталожене честице.



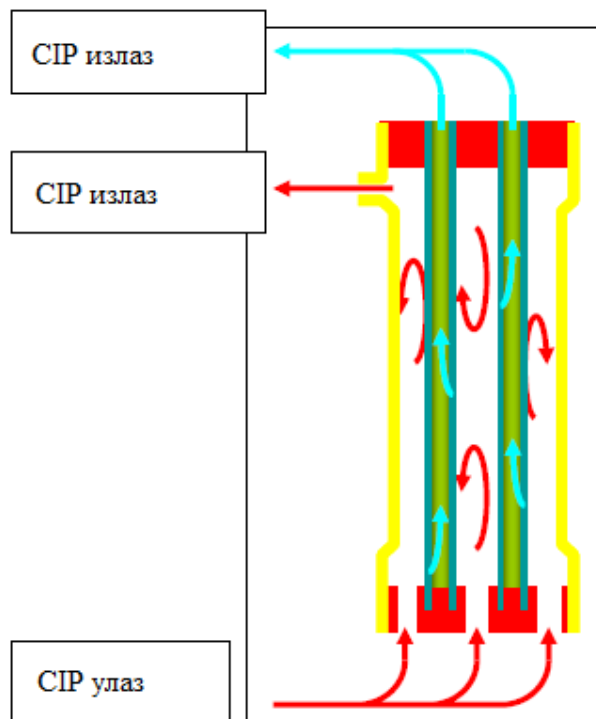
Слика 3.4. Процес регенерације на мембрани са шупљим влакном

III) Чишћење на лицу места

Систем периодично осим ваздушног рибања и реверзног испирања захтева детаљније чишћење у циљу регенерације модула. Хемикалије за чишћење се додају у резервоар за хемијско чишћење и потом пумпама потискују у мембрански модул са стране улаза сирове воде у модул. Овако натопљене мембране хемикалијама се оставе да одстоје одређено време након чега се вода са хемикалијама враћа у резервоар за хемијско чишћење (слика 3.5.).

Након хемијског чишћења мембране потребно је испирање које се обавља сировом водом. Прво испирање се испушта кроз одвод воде од прања и испушта се у резервоар за неутрализацију како би се извршила неутрализација хемикалија за хемијско прање мембрана.

Прање мембрана хемикалијама се зове "чишћења на лицу места" (*ориг. скр.* CIP cleaning - place). Предвиђено је да се ради аутоматски, а оператер је иницира ручно када од командног система добије одговарајућу индикацију.

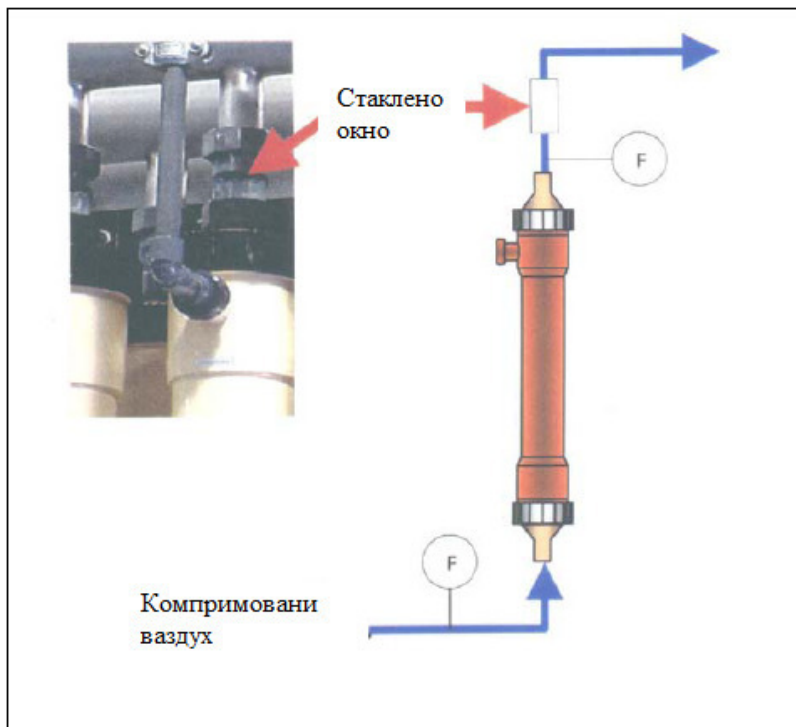


Слика 3.5. Процес CIP прања мембране са шупљим влакном

IV) Тест интегритета

Испитивање мембрана микрофилтрације на бази шупљих влакана спроводи се у складу са стандардизованим процедурама које је развила корпорација "Pall". Ове методе су оптимизоване за модуларне инсталације и доказали су се успешним у детектовању мањкавости системских модула који се састоје од више хиљада шупљих влакана (апроксимативно око 6.000 шупљих влакана). Често се систем програмира да аутоматски уради тест интегритета једном дневно.

Током теста интегритета компримовани ваздух се уводи у модуле са доње стране модула тј. са стране довода сирове воде. На горњем делу мембранског модула тј. на низводној страни постоји стаклено окно у коме се прати појава мехурића ваздуха. Уколико су сва мембранска влакна исправна нема мехурића ваздуха у стакленом окну на врху модула. Ако се појаве мехурићи у стакленом окну, модул се мора проверити детаљно како би се утврдило које је влакно дефектно да би се извршила његова замена.



Слика 3.6. Тест интегритета мембране са шупљим влакном

3.8 Поређење микрофилтрације са мембранским процесима

Посебно значајна примена мембранске технологије је у случајевима где класичан поступак пречишћавања воде не даје задовољавајуће резултате у погледу квалитета воде за пиће или се задовољавајући квалитет воде постиже уз велики утрошак хемикалија.

Класично постројење за пречишћавање воде у том случају подразумева низ објеката у технолошкој линији прераде односно захтева велики простор и велика инвестициона улагања у грађевинске радове.

Квалитет сирове воде одређује тип мембранске филтрације што је неопходно прво дефинисати на пилот постројењу. Као пример може се навести град Зрењанин у коме се у низу испитивања на различитим пилот моделима није дефинисао оптималан процес прераде воде мембранском технологијом.

Посебно је важно истаћи значај предтретмана у зависности од типа мембранске филтрације. Са друге стране на избор типа мембранске филтрације утиче квалитет сирове воде која се пречишћава.

За процес микрофилтрације и ултрафилтрације потребно је из сирове воде отклонити све честице које су веће од 400 μm што се може једноставно постићи на аутоматском самоиспирајућем филтеру. Аутоматски самоиспирајући филтер ради на принципу разлике притисака испред и иза „мреже“ са отворима од 400 μm кроз коју протиче

сирова вода. Када дође до разлике притисака услед зачепљена активира се процес прања тј. противструјног испирања чиме се уклоне наталожене честице.

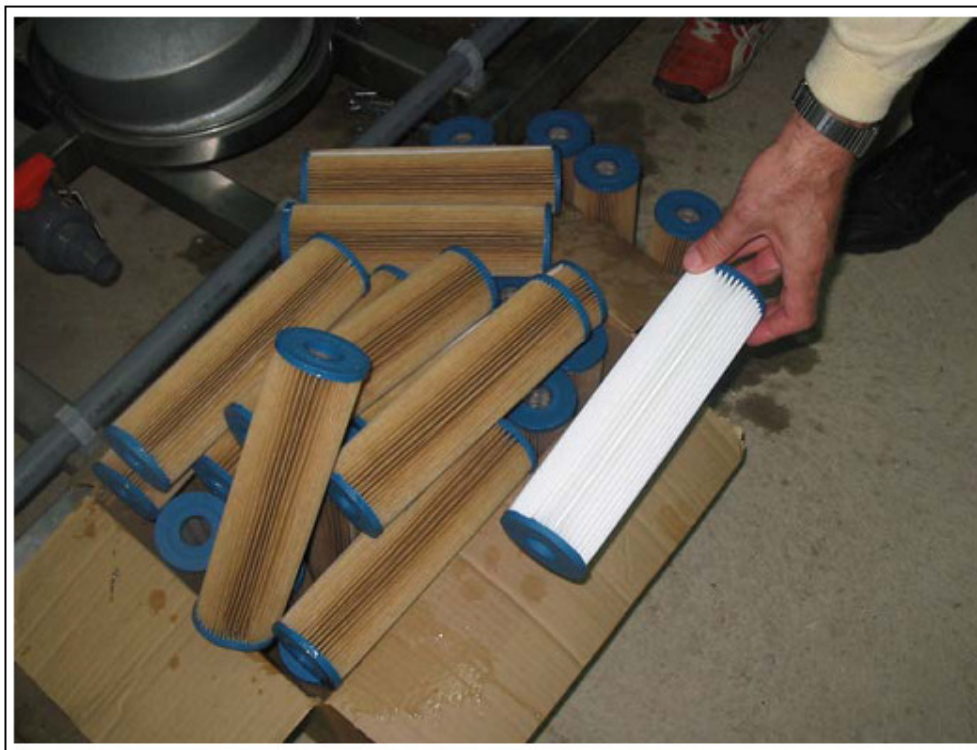
Хемијски предтретман подразумева додавање хемикалија које утичу на филтрационе карактеристике воде, а одређивање потребне хемикалије се дефинише на пилот моделу. У предтретману се додаје хлор као би се спречило развијање „микроорганизама“ у мембранама.

За процес нанофилтарције и реверзне осмозе потребно је да се из воде уклоне све честице које су веће од 1 μm што у зависности од квалитета сирове воде захтева низ корака у предтретману. Користе се микрокасетни филтери са испуном од бељеног памука или папирних уложака (слика 3.7. и 3.8.) ако је потребно, неким класичним видом предтретмана (коагулација и флокулација). Испуна микрокасетних филтера када се запрља мора се заменити новом тако да је неопходно дефинисати адекватни предтретман.

Хемијски предтретман је неопходан како би се заштитила мембрана. Дозирају се киселине како би се спречило стварање каменца на мембранама. Хлор треба избегавати на мембранама које нису отпорне.



Слика 3.7. Микрокасетни филтери и мембране за реверзну осмозу



Слика 3.8. Замена испуне микрокасетних филтера

Код мембранских процеса микрофилтрације и ултрафилтрације вода најчешће може одмах да се пласира у мрежу без додатног дотеривања квалитета воде. Код мембранских процеса реверзне осмозе и нанофилтарције неопходно је додатно дотеривање квалитета пречишћене воде најчешће дегасификацијом, као и мешање пречишћене воде са сировом водом у одређеном проценту.

3.9 Разлози за одабир и примену мембранске технологије

Мембранска технологија за прераду воде има све већу примену у свету због велике ефикасности и поузданости процеса, релативно ниских оперативних трошкова и све нижом ценом производње мембрана. У Србији постоје три мембранска постројења за прераду воде за пиће:

- У Пожаревцу – мембранско постројење нанофилтрације капацитета 27 l/s које је град добио као донацију и које до сад није пуштено у рад,
- На Дивчибарима – мембранско постројење реверзне осмозе капацитета 10 l/s које не ради због неадекватног предtretмана,
- У Доњем Милановцу – мембранско постројење микрофилтрације капацитета 40l/s које ради и обезбеђује потребну количину воде за град.

Без обзира на већа инвестициона улагања у односу на постројење са “класичном” технологијом основни разлози за примену мембранске технологије за водоснабдевање су:

- Могу се очекивати осцилације квалитета површинских вода као сирове воде. Квалитет воде после пречишћавања приликом примене мембранске технологије је константан, без обзира на промену квалитета сирове воде. Неочекивано погоршање квалитета сирове воде одразиће се на повећан број испирања мембрана (долази до бржег зачепљења мембрана, и да би се одржао константни проток на постројењу неопходно је чешће испирање мембрана).
- Постројење искључује могућност грешке особља које води процес, што је важан фактор. Систем је потпуно аутоматизован тако да је број техничког особља минималан.
- Према подацима годишњи трошкови функционисања постројења су мањи од трошкова на постројењу са класичном технологијом са озонирањем. На класичном постројењу велики трошак представљају плате запослених, а на мембранском постројењу замена мембрана.
- Количина отпадне воде у току процеса пречишћавања је минимална у односу на укупан капацитет постројења за микрофилтрацију, 95% – 98% воде се пречисти на мембранама, а количина отпадне воде са постројења је 3% – 5%.
- Мембрански систем је физички комапактан што смањује физичку величину постројења и цену грађевинских радова, а време изградње постројења је знатно краће.

Поред свих наведених предности мембранског система неопходно је осврнути се и на једини недостатак овог систем, а то је неопходност замене мембрана после одређеног времена (према искуству произвођача, век мембрана је од 5 до 10 година). Век мембрана је ограничен због оштећења мембрана услед прања хемикалијама, и оштећења која настају у редовном раду мембрана [5].

4. Мембрански системи у процесу третмана отпадних вода

Све већи број становника, климатске промене, привредни раст и урбанизација проузроковали су проблем воде, а посебно несташицу и учинили обраду отпадне воде приоритетом глобалних размера.

Вода се у индустрији појављује као сировина, као носилац енергије, као транспортно средство, као растварач, као међупроизвод, али скоро увек као систем за елиминисање отпадних материја. Та њена последња улога, као индустријске отпадне воде, је веома моћан фактор утицаја човека на животну средину (хидросферу). Индустријске отпадне воде делимо по пореклу, врстама, количинама, саставу и утицају на водопријамник (реципијент), могућност поновног коришћења, као и основни поступци претходног пречишћавања, а пре спајања са комуналним отпадним водама и заједничког третмана на централним постројењима за пречишћавање.

Дефиниција индустријске отпадне воде према Директиви Савета Европске Уније 91/271/ЕЕС од 21.05.1991. године, гласи:

„Индустријска отпадна вода је било која отпадна вода која са излива из просторија које се користе за вршење занатске или индустријске делатности, осим отпадне воде из домаћинства и отицаја од кишнице“.

Обзиром на могуће варијанте решавања проблема пречишћавања индустријских отпадних вода, у односу на комуналне отпадне воде, потребно их је свести на „заједнички именитељ“, нарочито када се посматра квалитет и количине. Из тог разлога је уведен појам „еквивалентни становник“, који олакшава тачно дефинисање хидрауличких и органских оптерећења постројења за пречишћавање. То су неопходни улазни подаци за пројектовање постројења за пречишћавање отпадних вода, односно прорачун грађевинских (хидротехничких) објеката постројења и прорачун и избор машинске (хидромеханичке) опреме.

Према горе наведеној Директиви дефиниција еквивалентног становника је следећа:

„1 E.S. (један еквивалентни становник) је органско биоразградиво оптерећење које има петодневну биохемијску потрошњу кисеоника (BPK_5) од 60 g кисеоника на дан“.

То је универзална величина на коју је потребно свести и квалитет индустријских отпадних вода [9].

Европска комисија ставила је акценат на технологију обраде воде, одржавање њене чистоће, превенцију загађења и надзор. Подстакнуте новим еколошким законодавством Европске уније, једним од најстрожијих на свету, регије широм Европе улажу у исплативе технологије којима постижу висок квалитет воде и истовремено остварују знатно мањи негативан утицај на животну средину. Историјски гледано, најбоље

решење за обраду отпадних вода је конвенционални систем са активним муљем, највише због умереног износа улагања које је потребно да би се постројење покренуло. Међутим, технолошки напретци у развоју мембранских биореактора добијају све већи замах. То је подстакнуто новим еколошким законодавством и захтевима за стандардизацијом као што је Директива о обради отпадних вода у урбаним подручјима (Urban Waste Water Treatment Directive - UWWTD) која тражи да у испусту буде мање нечистоћа, али и доказаном способношћу те технологије да доследно производи воду вишег квалитета него што се то постиже конвенционалним начинима обраде.

Комбинација биолошке обраде отпадних вода и мембранске технологије први пут се примењује 1970-их година на Reusseelaer Polytechnic Institute, Troy, New York i Dorr-Oliver, Inc. Connecticut, USA. Данас мембрански процеси бележе све већу употребу у обради отпадних вода, што можемо објаснити високом ефикасношћу уклањања органских материја, веома високом уједначеношћу квалитета излазне воде. Системи МБР (Membranski Bio Reaktor) за обраду отпадних вода развијају се великом брзином у последњих неколико година. Томе доприносе све строжи захтеви за квалитетом пречишћене воде, која је данас од круцијалне важности у свету јер расте свест људи о очувању околине као и заштите природних добара. Избор система који ће бити коришћен за пречишћавање отпадне воде зависи од врсте и количине отпадне воде, као и од економских, урбанистичких и еколошких аспеката.

Прилагођавањем Српских закона у процесу преговарања о уласку у Европску унију, са законима ЕУ, долази и до промена у сектору обраде отпадних вода, па се све више пажње посвећује изградњи система за одводњавање, као и изградњи и модернизацији класичних комуналних уређаја за обраду отпадне воде. Обзиром на значајну продукцију муља у класичним уређајима за обраду отпадних вода, проблем збрињавања муља постаје подједнако велики проблем, као и непречишћена отпадна вода, тако да је од посебне важности пронаћи новија решења обраде отпадне воде, како би се продукција муља смањила. Затим, могу се јавити и потешкоће у контроли и управљању уређајима за обраду отпадних вода, због велике осетљивости на повремена осциловања протока отпадне воде. Такође, неопходно је успостављање стабилне микробне средине, потребне за ефикасно уклањање органских састојака из отпадне воде. Све је ово довољан разлог за проналажење новијих технологија обраде воде, а једна од њих свакако је мембранска технологија.

МБР технологија може се поставити у мање објекте, који се касније могу променити и у великим постројењима за обраду воде, а она се постављају на крајњу тачку система за пречишћавање отпадне воде.

Данас мембрански процеси бележе све већу употребу у обради отпадних вода, што можемо објаснити високом ефикасношћу уклањања органских материја, веома високом уједначеношћу квалитета излазне воде.

4.1 Предтретман

Предтретмани индустријских отпадних вода су у пракси веома присутни. Основне предтретмане индустријских отпадних вода чине:

- издвајање чврстих материја,
- егализација различитих отпадних токова пре третмана,
- уклањање уља и масноћа,
- уклањање суспендованих материја,
- подешавање рН вредности пре испуштања отпадних вода или пре њиховог даљег третмана,
- уклањање тешких метала пре даљег третмана,
- уклањање или редукција токсичних једињења.

Механичко пречишћавање

Механичко пречишћавање индустријских отпадних вода је процес претходне обраде који се примењује у циљу издвајања из воде крупних пливајућих делова (пластичне кесе, грање, лишће, конзерве, дрво, комади различитог воћа, поврћа, меса и слично), затим грубог инертног материјала (шљунак, песак, камен, муљ, различити облици масноће, уља и слично) и осталих нерастворних минералних и органских примеса.

Уобичајени поступци механичког пречишћавања су следећи:

- цеђење кроз решетке,
- фино процеђивање кроз сита,
- одстрањивање песка и муља,
- бистрење (таложeње) и декантација,
- егализација,
- одстрањивање уља и масноћа,
- флотација,
- филтрирање.

Физичко – хемијски поступци

Физичко – хемијски поступци имају значајну и незаобилазну улогу у предтретманима индустријских отпадних вода. Они се користе или као самостални или у комбинацији са механичким, хемијским или биолошким поступцима. Последњих година физичко – хемијске методе предтретмана су у великој експанзији и њихов значај међу осталим процесима је у порасту.

Уобичајене методе физичко – хемијског пречишћавања су:

- коагулација,
- флокулација,
- адсорпција.

Хемијски поступци

Код великог броја различитих врста индустријских отпадних вода, као методи предtretмана, користе се поступци хемијског пречишћавања. Као и физичко – хемијски, тако се и хемијски поступци предtretмана могу користити као самостални за обраду отпадних вода или у комбинацији са осталим поступцима пречишћавања.

- неутрализација,
- оксидно – редукциони поступци.

Биолошко пречишћавање

Поступци биолошког пречишћавања у предtretманима имају примену код свих индустријских отпадних вода, које су загађене материјама органског порекла.

Биолошки поступци обраде, којима се биохемијски разграђује отпадна органска материја, у технолошком смислу се нису много променили у односу на време, када се започело са применом ових процеса у третманима отпадних вода. Проблеми загађења водотокова и наше познавање и признавање тих проблема у великој мери су се променили током истог периода. Тако су данас могућности класичне биолошке обраде, чак и кад јој претходи примена примарне, механичке обраде, веома ограничене, посебно када су у питању индустријске отпадне воде, које садрже више различитих токсичних и рефракторних органских и неорганских загађивача. Ово је резултирало широј примени физичко – хемијских сепарационих процеса као што су адсорпција, флотација, хемијска оксидација и редукција, неутрализација, јонска измена и тд. Широм применом ових процеса, који се значајно користе последњих година, уведена је још једна линија обраде, која се по аналогији са класичним терминима „примарна“ и „секундарна“ обрада, најчешће назива терцијална обрада отпадних вода. Основни задатак ове фазе обраде је уклањање оних супстанци, које кроз примарну и секундарну обраду пролазе квалитативно и квантитативно практично неизмењене. Оваквим завршним пречишћавањем отпадних вода, данас је могуће достићи њихов квалитет до било ког жељеног нивоа. То значи да се може постићи да пречишћена отпадна вода буде истог или чак и бољег квалитета и односу на почетну воду.

Значајно је, међутим, напоменути да се процеси терцијалне обраде не користе само као допуна секундарној обради, него као и замена за њу. Данашњи захтеви у погледу квалитета пречишћених отпадних вода сигурно ће допринети све ширем коришћењу поступака терцијалне обраде, из разлога све снажнијег притиска на индустрију у смислу смањења количина отпадних вода и укупног загађења, које се са њима испушта у животну средину и човекову околину. На овај начин ће квалитет пречишћених отпадних вода бити све ближе квалитету погодном за поновну употребу или

рециркулацију, које, захваљујући и растућој оксидацији воде, остају практично једина алтернатива.

Биолошка разградња органских материја може се извршити у присуству или одсуству кисеоника. У пракси се користе:

- Аеробни биолошки поступци (уз присуство кисеоника),
- Анаеробни биолошки поступци (без присуства кисеоника) [9].

Аеробни биолошки поступци

Аеробни биолошки поступци пречишћавања отпадних вода су поступци који се обављају у присуству кисеоника. Овим поступком је могуће пречишћавати градске отпадне воде јер садрже знатне количине загађујућих материја органског порекла. Из истог разлога је могуће овим поступцима пречишћавати и отпадне воде многих индустрија, нарочито прехранбене. Ови поступци су погодни јер су економични, имају добре ефекте пречишћавања и најцелисходнији су када је потребно из отпадних материја уклонити растворене органске материје. Многе индустријске отпадне воде садрже претежно растворене органске материје и као такве су погодне за пречишћавање аеробним биолошким поступцима. Током одвијања биохемијских процеса пречишћавања настаје биомаса која је предмет интензивних истраживања, нарочито у погледу могућег коришћења.

Многе индустријске отпадне воде, којима је заједничко да су загађене органским материјама, врло су различите по свом карактеру и обиму и из тог разлога је при пројектовању постројења за пречишћавање потребно водити рачуна о свим релевантним факторима. Пре него што се приступи разради концепције пречишћавања, потребно је на основу резултата испитивања у одређеним производним погонима предузети мере да се смањи загађење отпадних вода.

Најефикаснија мера је рециркулација и поновно коришћење воде, као и рекулпација отпадних материја у овим производним погонима који генеришу највеће количине загађења. У ефикасне мере спадају и измене у производно – технолошким процесима, који за резултат имају емисију великих количина загађења, уколико је то из техничких и економских разлога могуће.

Веома неповољна карактеристика индустријских отпадних вода, код биолошких пречишћавања је свакако дисконтинуално испуштање. Из тог разлога је потребно уводити егализацију као ефикасан начин уједначавања протока и мешања отпадних вода из различитих производних погона.

Индустријске отпадне воде поред тога што су загађене органским материјама, често садрже и токсичне супстанце или тешко разградиве супстанце. Ово својство индустријских отпадних вода је једно од најнеповољнијих када су у питању биолошки поступци пречишћавања.

Све ове карактеристике индустријских отпадних вода могу неповољно утицати на биоценозу биолошких постројења и уређаја за пречишћавање, односно могу довести до блокаде рада биолошких процеса који се у њима одвијају.

Из тих разлога, коришћење критеријума који се односе на пројектовање постројења за пречишћавање градских отпадних вода, није могуће при пројектовању постројења за пречишћавање индустријских отпадних вода. За сваки конкретан случај је потребно узимати критеријуме и податке са сличних постројења, или извршити потребна лабораторијска и полуиндустријска испитивања.

Аеробни биолошки поступци су:

- процес са активним муљем,
- процес биолошке филтрације,
- процес у аерисаним биолагунама или језерима.

Поред ових конвекционалних поступака, у последње време су у примени све више савремена решења, за која се може рећи да су унапређени биолошки процеси са активним муљем:

- СБР процес – биолошки процес који се одвија у секвенцијалном шаржном реактору,
- МБР процес – биолошки процес који се одвија у мембранском биореактору,
- МББР процес – биолошки процес који се одвија у биореактору који је делимично испуњен са носиоцима биофилма, који се интензивно мешају са отпадном водом помоћу ваздуха.

Процес са активним муљем

Процес са активним муљем је начин пречишћавања отпадних вода загађених органским материјама, који је најчешће у примени. Под овим процесом се подразумева уклањање органских материја из отпадних вода, које се врши помоћу аеробних микроорганизама – претежно бактерија. Ови микроорганизми се налазе у активном муљу који се интензивно меша са свежеом отпадном водом и то помоћу ваздуха (биолошка аерација). Активни муљ је сачињен од флокула (пахуља) микроорганизама и органске материје. Уз присуство кисеоника из ваздуха ови микроорганизми узимају органску материју (у отпадној води се налази у раствореном и колоидном облику) као своју храну. Аерацијом смеше муља и отпадне воде се обезбеђује измена супстрата и продуката метаболизма, као и потребна количина кисеоника за животни циклус аеробних бактерија (микроорганизама). Овај процес је у ствари процес трансформације материје

и то органске неживе у живу материју микроорганизама – активни муљ. Овде је интересантно напоменути да су још једино гљиве, поред бактерија, организми који се хране распаднутим органским материјама. Користећи такву храну, они је разлажу и минерализују и представљају својеврсне чистаче животне средине. Називају се и разлагачи (редуценти) и као такви су веома значајни чланови екосистема. И управо микроорганизми (бактерије) чине основни састав активног муља и захваљујући њиховом метаболизму обавља се редукција загађења које се налази у отпадној води.

Описани аерациони процес се одвија у биоаерационом базену (биолошком реактору). У тој реакционој запремини је потребно обезбедити повољне животне услове (абиотичке, који не припадају живој природи и биотичке који припадају живој природи) за раст и развој екосистема активног муља.

Након тога се смеша активног муља и отпадне воде преводи у секундарни таложник, где се процесом таложења (декантације) одваја чврста фаза (активни муљ) од течне фазе (пречишћена вода). Део исталоженог активног муља се враћа назад у биоаерациони базен (рециркулација активног муља), док се избистрени ефлуент изводи из таложника и одводи или у реципијент, или на даљу обраду.

Други део исталоженог активног муља се изводи из секундарног таложника и обрађује посебним процесима угушћавања, кондиционирања, дехидратације (обезводњавања), стабилизације и слично.

Према споразуму који је постигнут на међународном симпозијуму у Атланти 1972. године, сви процеси са активним муљем су подељени у четири основне групе:

- процес са стабилизацијом муља (потпуно пречишћавање) које се постиже продуженом аерацијом,
- процес са нитрификацијом,
- процес који даје ефлуент вредности $BPK_5 = 20 \text{ mgO}_2/\text{L}$,
- процес који даје ефлуент вредности $BPK_5 = 30 \text{ mgO}_2/\text{L}$.

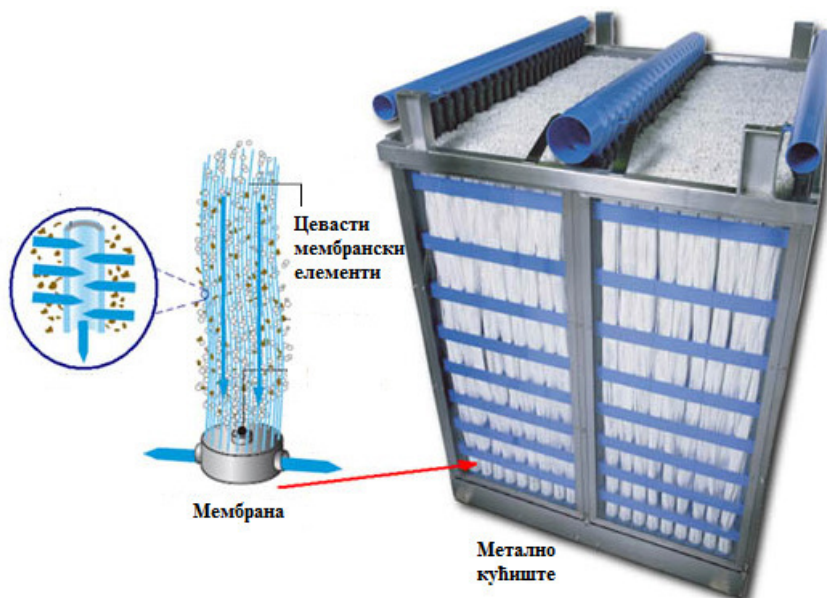
Ова подела је извршена на основу оних технолошких параметара, помоћу којих се врши димензионисање биоаерационих система: прорачун и димензионисање реакционих запремина (биоаерационих базена), прорачин потребних количина ваздуха (кисеоника), прорачун и избор аерационе опреме (компресори – дувалке, дифузори за унос ваздуха у воду и слично), прорачун и избор пумпи за рециркулацију активног муља и све остале машинске (хидромеханичке) опреме која је потребна за функционисање оваквих постројења за пречишћавање отпадних вода.

Постројење са активним муљем се најчешће састоји од улазне грађевине са пумпном станицом, грубе и fine решетке за процеђивање отпадних вода, аерисаног песколова, примарног таложника, биоаерационог базена (реактора), секундарног таложника са пумпном станицом за рециркулацију активног муља и грађевине мерача протока [9].

4.2 МБР процес

МБР процес је једна од варијанти биолошког процеса са активним муљем, који се одвија у мембранском биолошком ректору. То је процес аеробног биолошког пречишћавања са потопљеним ултрафилтрационим мембранама. И овде се уклањање органских материја из отпадне воде спроводи захваљујући метаболизму микроорганизама, само се разлика огледа у начину раздвајања чисте воде од формираних флокула активног муља. То се обавља преко ултрафилтрационих мембрана које су уроњене у биолошки реактор и у којима влада подпритисак, односно вакуум.

Код МБР-а се биолошка обрада обавља у биоаерационом базену (биореактору). У биоаерационом базену владају аеробни услови, кисеоник потребан за раст и размножавање бактеријске биоценозе се обезбеђује уносом ваздуха у отпадну воду, док се ваздух обезбеђује радом компресора – дуваљки. Ултрафилтрација са потопљеним мембранама је следећа фаза обраде отпадних вода. Мембрански систем се састоји од процесног резервоара у који су потопљене ултрафилтрационе мембране и у директном су контакту са суспензијом активног муља и воде. Коришћењем вакуум пумпе ствара се подпритисак у цевоводу који повезује мембране. Вакуум провлачи третирану воду кроз ултрафилтрационе мембране до збирних колектора и даље до пумпе, а потом се испушта у реципијент, односно враћа на поновно коришћење.



Слика 4.1. Цеваста мембрана [11]

Ултрафилтрационе мембране се слажу у модуле, а модули у касете. Тако формиране конфигурације ултрафилтрационих мембрана се уграђују у процесни резервоар, одакле се извлачи чиста вода, док активни муљ остаје у процесном резервоару, одакле се захвата рецикулационим пумпама и враћа се назад у биоаерациони базен. У суштини

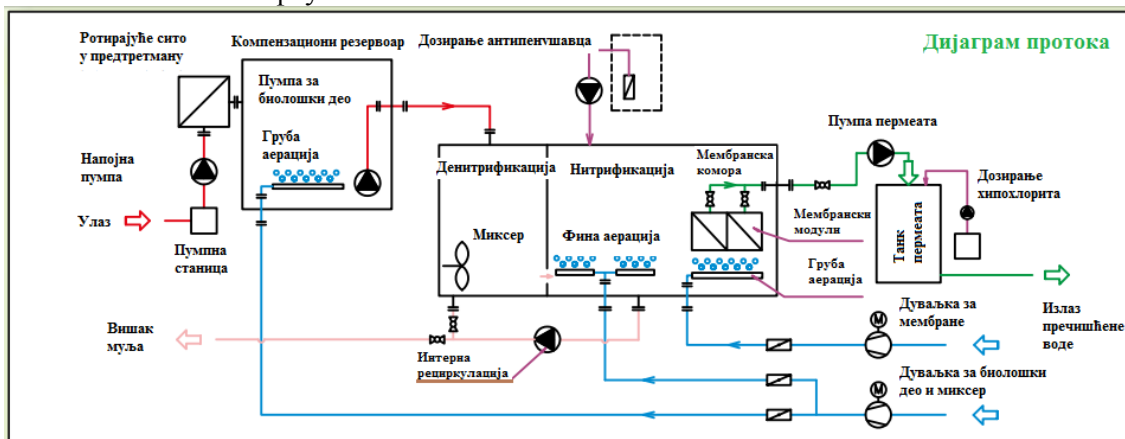
мембрански процес се наслања на конвенционални биолошки поступак обраде отпадних вода, с том разликом што ултрафилтрационе мембране замењују секундарне таложнике и цео систем рецикулације активног муља.

Процес са биореактором са уроњеним ултрафилтрационим мембранама је процес који се одвија у биолошком реактору у коме је интегрисан систем ултрафилтрационих мембрана. У суштини, мембрански систем замењује функцију сепарације и декантације честица и флокула активног муља секундарних таложника и пешчаних филтера у конвекционалном систему активног муља. У случају примене код великих протока, користе се мембране са шупљим влакнима, патентирна ултра ниско – притисна мембранска конфигурација конструисана тако да понуди потенцијалне економске предности, а која обезбеђује да отпадна вода буде ослобођена од финих суспендованих честица и флокула активног муља.

Савремене мембране са шупљим влакнима се праве и у микро-филтрационом (МФ) и у ултрафилтрационом (УФ) моделу. Микрофилтрациона мембрана са шупљим влакнима има номиналну и апсолутну величину отвора 0,085 и 0,4 микрона, док ултрафилтрациона мембрана има отворе 0,035 и 0,1 микрон.

Вишак активног муља се пумпама изузима из биоаерационог базена и може се третирати процесима гравитационог угушћавања, хемијског кондиционирања и машинске дехидратације са крајњом диспозицијом муљног колача на санитарној депонији. Активни муљ је код ове технологије стабилизован, захваљујући интензивној продуженој аерацији која се спроводи у биоаерационим базенима.

Цело постројење које базира на комбинацији биолошке обраде и ултрафилтрације је компактно, заузима релативно мало простора и веома је ефикасно у постизању високог квалитета излазног ефлуента.



Слика 4.1. Шема МБР уређаја

У процесу са применом мембранске технологије, осим одвијања процеса нитрификације и денитрификације, споводи се оксидација угљеникових једињења, као и хемијско уклањање фосфора. Примена мембрана искључује фазу накнадног таложења у секундарном таложнику, а после биоаерационог базена. Ово резултира смањењем габарита постројења и простора за његову изградњу.

Сепарација активног муља преко мембране се обавља тако што се деловањем вакуума, муљ задржава на мембранама, а чиста вода пролази кроз отворе на мембранама. Повременим контра прањем мембрана чистом водом, постиже се перманентно одвајање наталоженог муља на површини мембране, чиме се постиже испирање отвора на мембранама и спречава зачепљење мембрана. Захваљујући великој активној површини мембране и високој ефикасности издвајања суспендованих и колоидних материја, као и флокула активног муља постиже се знатно смањење објекта постројења које се изводе по МБР технологији.

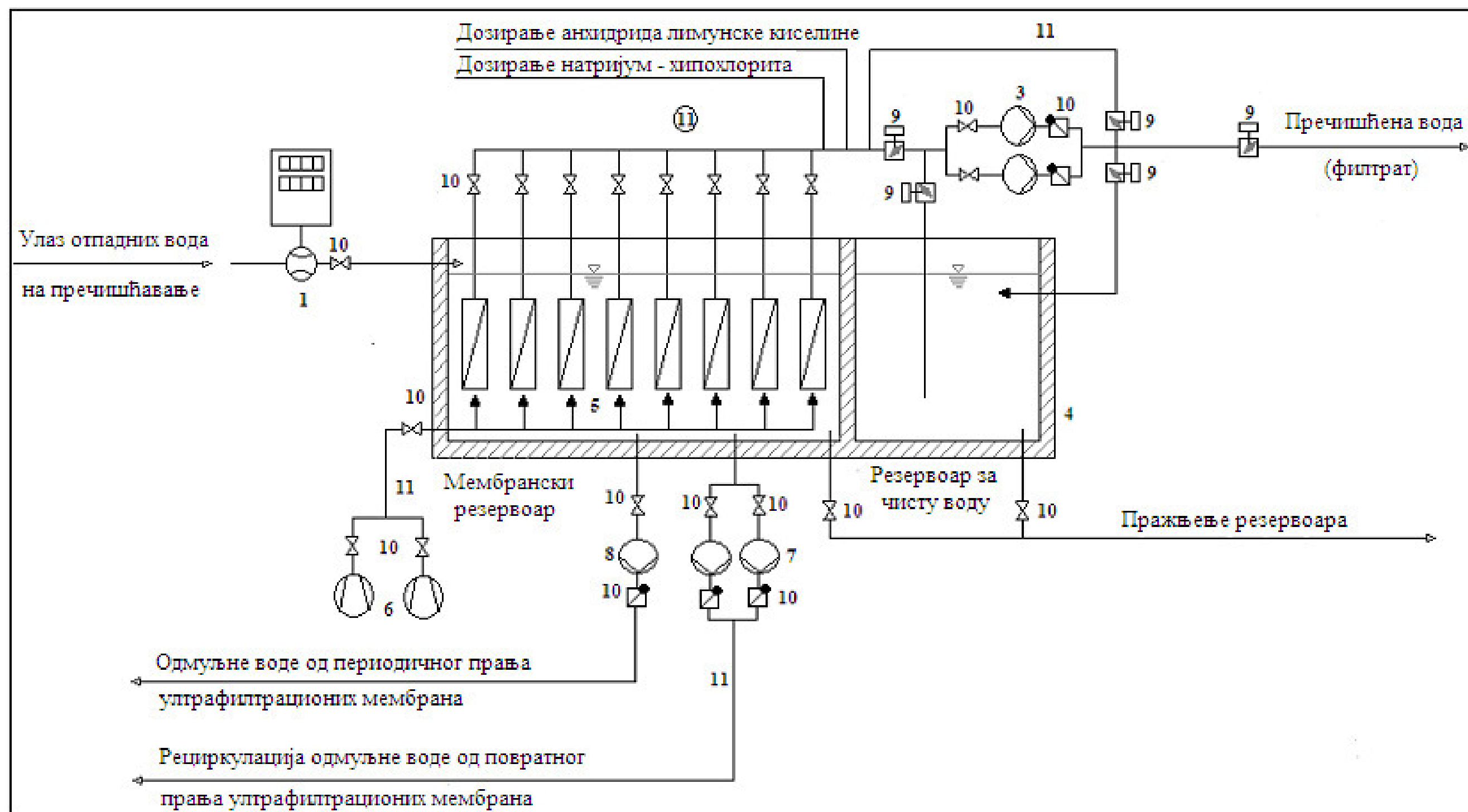
После проласка кроз ултрафилтрационе мембране, пречишћена отпадна вода је веома високог квалитета. Ефлуент поседује високе квалитативне карактеристике, како са аспекта физичко-хемијских параметара, тако и са аспекта микробиолошких својстава. Применом ове технологије постиже се изузетно висок квалитет пречишћене отпадне воде, који превазилази стандардне захтеве за ниво терцијалног пречишћавања.

Пример мембранског МБР реактора је приказан на слици 4.3. На њој се види технолошка шема МБР процеса са мембранским реактором са вакуумском ултрафилтрацијом. Мембрански МБР процес за пречишћавање отпадних вода је комбинација биолошког аеробног пречишћавања и ултрафилтрације која се одвија под вакуумом.

Са шеме се јасно види да се ради о потопљеним мембранама. Од мембрана су формиран модули (5), од модула касете, а саме касете су уроњене у воду у процесном резервоару (2). Вакуум пумпа (3) својим радом формира подпритисак у шупљим мембранама, захваљујући коме долази до протока чисте воде кроз мембране. Из овог резервоара се истом пумпом (4), која сада ради са промењеним смером обртања, обавља контра струјање кроз мембрану (тзв. back washing), чиме се обавља одлепљивање наталоженог материјала са површине мембране. Ово је процес контра прања мембране, којим се обезбеђује константан проток кроз мембрану, односно спречава зачепљење мембране.

Електропнеуматски вентил (9) обезбеђује аутоматско одвијање овог процеса, који се води преко управљачког ПЛЦ-а. Компресор – дувалка (6) удувава ваздух у МБР реактор, чиме се обезбеђује лагано лелујање мембрана, спирање њене површине струјом ваздуха, чиме се додатно осигурава квалитетно чишћење површине мембрана од наталоженог загађујућег материјала.

МБР процесу пречишћавања отпадних вода претходи предtretман који се састоји од грубог и финог процеђивања и таложена песка у аерисаном песколову. У мембранском МБР процесу, с обзиром да се сепарација муља обавља помоћу ултрафилтрационих модула, нема потребе за уградњом таложника. У самом МБР реактору су интегрисани и биоаерациони базен и секундарни таложник. Из тог разлога постројење са МБР процесом заузима мање места за изградњу и даје ефлуент далеко бољег квалитета у односу на класичне биолошке процесе пречишћавања. [9]



Слика 4.3. Технолошка шеме вакуумске ултрафилтрације у МБР реактору [9]

4.3 Опис МБР технологије код обраде комуналних отпадних вода

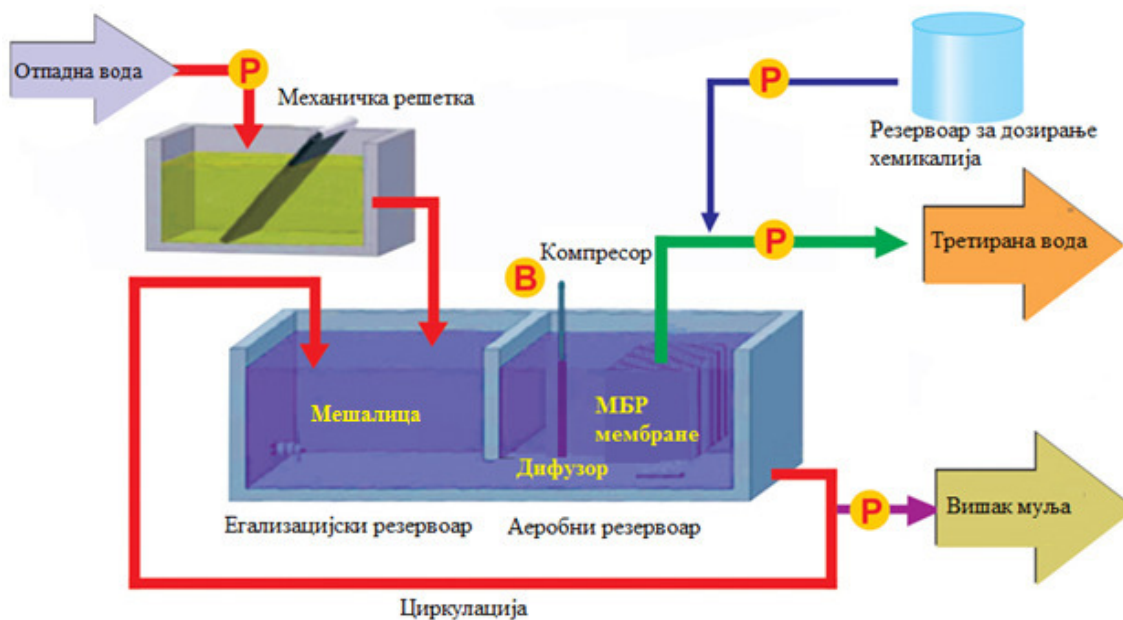
Примена МБР процеса код обраде комуналних отпадних вода, гледано са аспекта механичког и аспекта погонских услова, врло је једноставна због чињенице да коришћење мембрана замењује читав низ поступака карактеристичних за конвенционални начин обраде отпадних вода чиме је омогућено знатно смањење потребног простора за смештај уређаја и потрошњу хемијских средстава. Поред тога МБР процес има висок степен ефикасности. МБР процес за обраду комуналних отпадних вода захтева припремљени инфлуент на улазу у реактор и онолико МБР реакционих базена колико налаже буџет процесних услова.

Предтретман је механички, а састоји се од грубе, по потреби, и аутоматске fine решетке отвора од 1 mm, за одвајање примарног отпада. Механички предтретман осигурава уклањање грубог и крупног отпада из улазне воде.

Могућност модларне градње (уређај подељен на више биореактора) осигурава квалитетну обраду воде и код великих промена улазних протока у МБР систем, што га чини прикладним за обраду великих, максималних оптерећења и / или за обраду врло малих дотока током мале потрошње вода (варијације лето - зима). Основна предност примене МБР технологије је у чињеници да се ради о релативно малим уређајима који на нивоу примењене технологије имају уграђену могућност терцијарне обраде отпадних вода, са ниским излазним концентрацијама суспендованих материја, КРК, ВРК₅, амонијака, ТКН и ТР (III. степен пречишћавања). Због уклањања бактерија, нутријената, хранљивих соли, фосфора и азота, уклања се главни узрок еутрофикације реципијента.

Инфлуент, тј. улазне комуналне отпадне воде у МБР уређај могу бити оптерећеније тј. више загађене него код класичних биолошких система, како због мембрана као сепарацијских јединица, тако и због високе концентрације муља (MLSS - концентрација активног муља) и ниског улазног оптерећења по биомаси (F/M - однос хране и броја микроорганизама). То даје могућност велике флексибилности биолошког оптерећења МБР система. Излазна вода из МБР уређаја је погодна за поновну употребу.

Постројења су пројектована за непрекидан аутоматизован рад са даљинским управљањем, при специфичним условима хидрауличног и органског оптерећења и то тако да се омогући рад при различитим дневним капацитетима и / или зимско - летњи режим рада.



Слика 4.4. Шема МБР постројења

Уређај се састоји од следеће опреме и објеката:

- уређаја са аутоматском механичком решетком (1 mm) и сабијање примарног отпада,
- базена за егализацију инфлуента са третманом,
- МБР реакциони базен (денитрификација, нитрификација, подручје сепарације),
- базена за спремање и стабилизацију муља,
- резервоара за контролу ефлуента,
- резервоара чисте воде,
- канцеларија са контролном опремом.

Механичка решетка димензионисана је тако да задовољава широки распон флукуације инфлуента, као и све дисконтинуитете протока током рада уређаја. Одвојене механичке нечистоће доспеле на ротациону решетку аутоматски се складиште у типски контејнер отпадака. Заштиту од непријатних мириса на механичкој решетки осигурава потпуно затворени ток механичких нечистоћа од решетке до контејнера.

Егализацијски базен служи за егализацију придошлих количина инфлуента. Димензионисан је тако да у комбинацији са МБР базенима задовољава захтевани процес, обзиром на количине дотока отпадних вода, као и на концентрације.

4.4 Савремени поступци пречишћавања отпадних вода

Пред инжењере који се баве пројектовањем и реализацијом постројења за пречишћавање индустријских отпадних вода се постављају високи захтеви у односу на квалитет пречишћене воде у следећим карактеристичним случајевима:

- приликом испуштања ефлуента у природне водотоке,
- приликом рециклирања употребљене воде за нови производни циклус (поновна употреба пречишћене воде),
- приликом потребе да се материје које одлазе са отпадним водама искористе као секундарне сировине.

Да би се решили овако сложени проблеми у области третмана отпадних вода, све више је у примени мембранска сепрациона технологија. Ова технологија спада у неконвекционалне методе пречишћавања индустријских и комуналних отпадних вода и као таква припада савременим поступцима пречишћавања.

Основни принцип пречишћавања путем мембрана се састоји у томе што се вода (то је у ствари водени раствор) налази са једне стране мембране. Коришћењем погонске силе (механичке или електричне енергије) кроз мембрану ће протећи чиста вода, остављајући за собом своје примесе као концентрат. Метод примене погонских сила (притисак, вакуум, електрична енергија), врсте и тип мембрана, врсте и карактеристике водених раствора (индустријских отпадних вода) одређују врсту одстрањених примеса, ефикасност процеса, а самим тим и врсту и тип мембранског уређаја, односно постројења.

У третману индустријских отпадних вода примена мембранских процеса је најшира у подручју микрофилтрације, ултрафилтрације и реверсне осмозе (ултрафилтрација је нашла примену код МБР биолошких процеса, а реверзна осмоза у третману и рецикулацији кондензата и индустријских вода за расхладне системе и слично).

У припреми воде за индустријске потребе, рецикулацијама индустријских вода, припреми воде за пиће и слично, примена мембрана је најшира у подручју ултрафилтрације, нанофилтрације и реверзне осмозе (ова задња се веома користи у десалинизацији морске воде за добијање воде за пиће).

Карактеристично за мембранске процесе је свакако:

1. Са једне стране мембране постоји флуид са две или више растворених компонената од којих неке лакше пролазе кроз мембрану од других.
2. Са друге стране мембране постоји флуид који прихвата пропуштену компоненту или групу пропуштених компонената.
3. Постоји погонска сила која обезбеђује овај транспорт компонената уз утрошак електричне или механичке енергије, па је тако код електродијализе погонска сила електрична енергија, код дијализе различита концентрација раствора са једне, односно друге стране мембране, а код ултрафилтрације притисак (вакуум) који настаје радом филтерских (вакуум) пумпи.

Шира примена мембранских процеса је омогућена тек развојем полимерне хемије и добијањем читавог низа полимерних мембрана са специфичним карактеристикама које су прилагођене појединим сепарационим процесима.

Карактеристични облици мембрана могу бити:

- плочасти,
- шупљи ојачани,
- шупљи неојачани,
- спирално намотани.

Постоје још неке поделе мембрана које зависе од материјала од којих су израђене, начина израде, специфичних карактеристика површине и слично, па тако мембране могу бити хомогене, хетерогене, хидрофилне, хидрофобне и као такве се користе за различите сепарационе процесе.

Поред тога могућа је подела мембрана, у ужем смислу, имајући у виду њихову физичку структуру и начин транспорта примеса из воденог раствора, на следеће групе:

- макропорозне мембране,
- микропорозне мембране,
- мембране типа гела,
- мембране типа растварача,
- мембране јонски проводници.

Транспорт материја кроз макропорозне мембране се одиграва или дифузијом или конвекцијом. Селективност се дешава на молекулском нивоу и највише се користе као сита за раздвајање честица различите величине.

Транспорт материја кроз микропорозне мембране се одвија комбинацијом дифузије у порама мембране и конвекцијом, површинске дифузије дуж зидова пора мембране и дифузије у материјалу мембране између самих пора мембрана.

Код мембрана типа гела механизми транспорта су веома сложени и могу се анализирати само на основу лабораторијских испитивања или на основу термодинамичких неповратних процеса.

Код мембрана типа растварача преношење компонената се врши растварањем и дифузијом кроз мембрану.

Мембране типа јонски проводници проводе одређене јоне селективно. Специфични састав мембрана и структура решетке од којих је израђена мембрана, обезбеђује велику селективну проводљивост јона.

Наведени мембрански процеси су у данашње време заузели веома значајно место у пречишћавању отпадних вода како технолошких, тако и комуналних, а све више се

користе и у припреми воде за пиће, као у и припреми воде за производњу и индустријске потребе.

Захваљујући веома високом квалитету воде која се добија применом мембранских технологија, рецикулацији и поновном коришћењу добијене пречишћене воде, као и коришћењу добијених концентрата, мембрански процеси су широко примењени у третману вода као савремени процеси пречишћавања.

Као најчешће коришћени процеси у индустријским условима, су процеси ултрафилтрације и реверзне осмозе.

4.5 Процес ултрафилтрације

У пречишћавању технолошких отпадних вода, комуналних отпадних вода, у припреми воде за пиће, у припреми воде за индустријске потребе и сл. процеси ултрафилтрације се у данашње време све више користе. Као што је раније наведено подручје примене ултрафилтрационе технологије, када су у питању градијенти величине честица које је потребно одстранити из воде, заступљеност се креће у границама од 0,01 до 0,1 μ m.

И управо у томе леже разлози за примену ултрафилтрације, али ће се навести они најзначајнији, када су у питању ефекти пречишћавања и одстрањивања загађујућих примеса из воде:

- одстрањивање колоидних растворених материја,
- одстрањивање органских материја велике молекулске тежине,
- издвајање вируса и бактерија.

За обезбеђивање протока кроз мембране са овако малим отворима, потребан је знатно већи диференцијални притисак. Код ултрафилтрационих уређаја који се примењују у индустријским условима од набројаних типова мембрана, највише је у употреби ојачна уроњена шупља мембрана. У претходном периоду (друга половина XX века) се углавном користила мембрана под притиском, при чему се филтрација одвијала са унутрашње стране мембране ка спољашњој страни.

Мембране под притиском су имале следеће карактеристике:

- захтев за бољом припремом (предtretманом) воде пре процеса ултрафилтрације,
- захтев за чешћим и интензивнијим повратним прањем мембрана у циљу обезбеђења континуалног протока кроз мембране,
- чешћа оштећења мембрана услед високог притиска који се користи као погонска сила за транспорт материја,
- захтев за већим капацитетима уређаја усложњава и компликује ултрафилтрациони систем у целини.

Из тог разлога се у новије време све више прелази на ултрафилтрационе уређаје који користе уроњене мембране које као погонску силу користе подпритисак (вакуум). Применом вакуума се у великој мери избегавају проблеми који се јављају код ултрафилтрације под притиском.

Карактеристике вакуумских ултрафилтрационих система су следеће:

- минимални захтеви за квалитетом воде пре ултрафилтрације,
- континуални проток кроз мембране се обезбеђује далеко ређим и мање интензивним повратним прањем мембрана,
- погонска сила потребна за транспорт материја се код вакуума обезбеђује уз далеко мањи утрошак енергије, него код мембрана под притиском,
- слагањем основних мембранских модула у касете и батерије, обезбеђују се велики капацитети вакуумских ултрафилтрационих уређаја,
- могућност уградње у постојећа постројења за пречишћавање технолошких отпадних вода, односно могућност уградње у постојеће резервоаре, као и могућност имплементације у постојеће технолошке процесе.

Због предности које су наведене код вакуумске ултрафилтрације, у даљем излагању пажња ће бити поклоњена овом типу уређаја [9].

4.6 Примери примене ултрафилтрационих уређаја

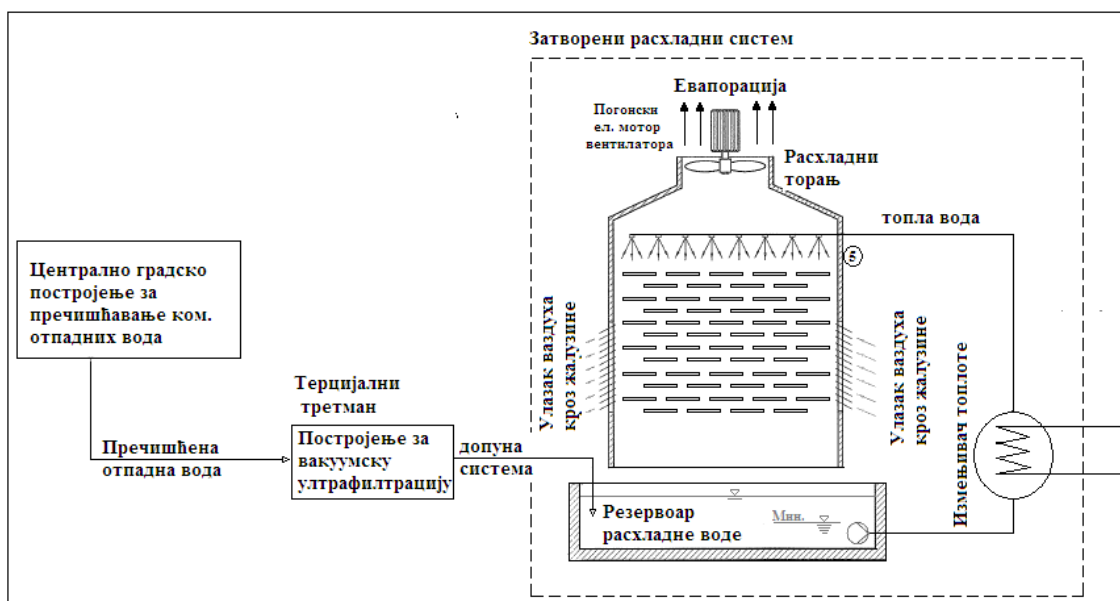
На следећих неколико примера (слике 4.5, 4.6, 4.7) биће приказана примена ултрафилтрационих уређаја у различитим гранама индустрије: енергане, рафинерије, погони за машинску обраду и слично.

На слици 4.5. приказана је примена ултрафилтрационе мембранске технологије за финално пречишћавање ефлуента из централног градског постројења за пречишћавање комуналних отпадних вода, а у циљу примена ултра пречишћене воде за расхладни систем електране.

Из шеме се види да се као сирова вода користи ефлуент из градског постројења, која се након третмана на ултрафилтрационим мембранама користи као напојна вода за расхладни систем енергане.

Предности оваквог решења су:

- јефтина сирова вода,
- 90% ефлуента се поново користи,
- нижи погонски трошкови,
- минимална употреба простора.

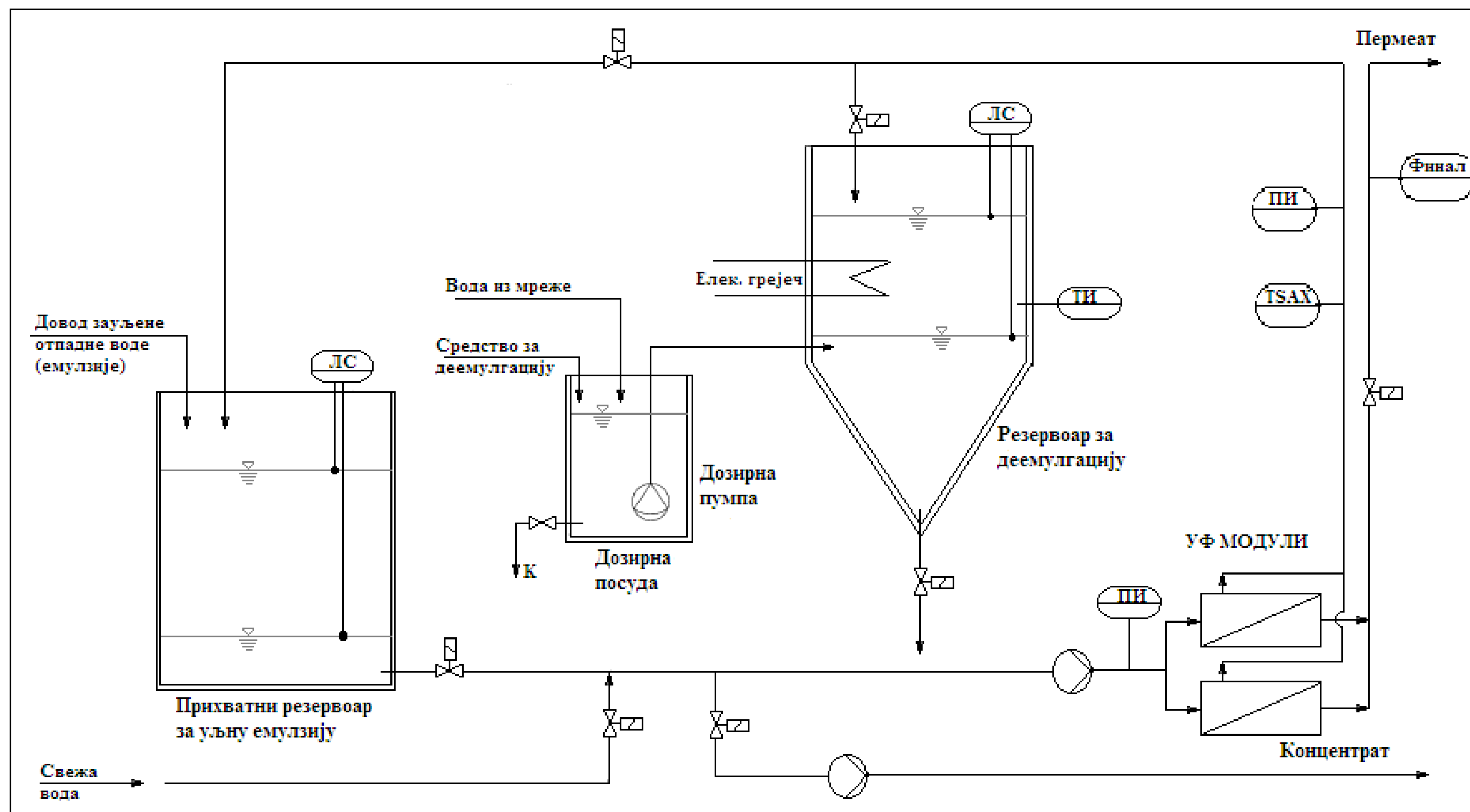


Слика 4.5. Технолошка шема поновне употребе пречишћене воде са централног градског постројења као улазне воде у расхладни систем [9]

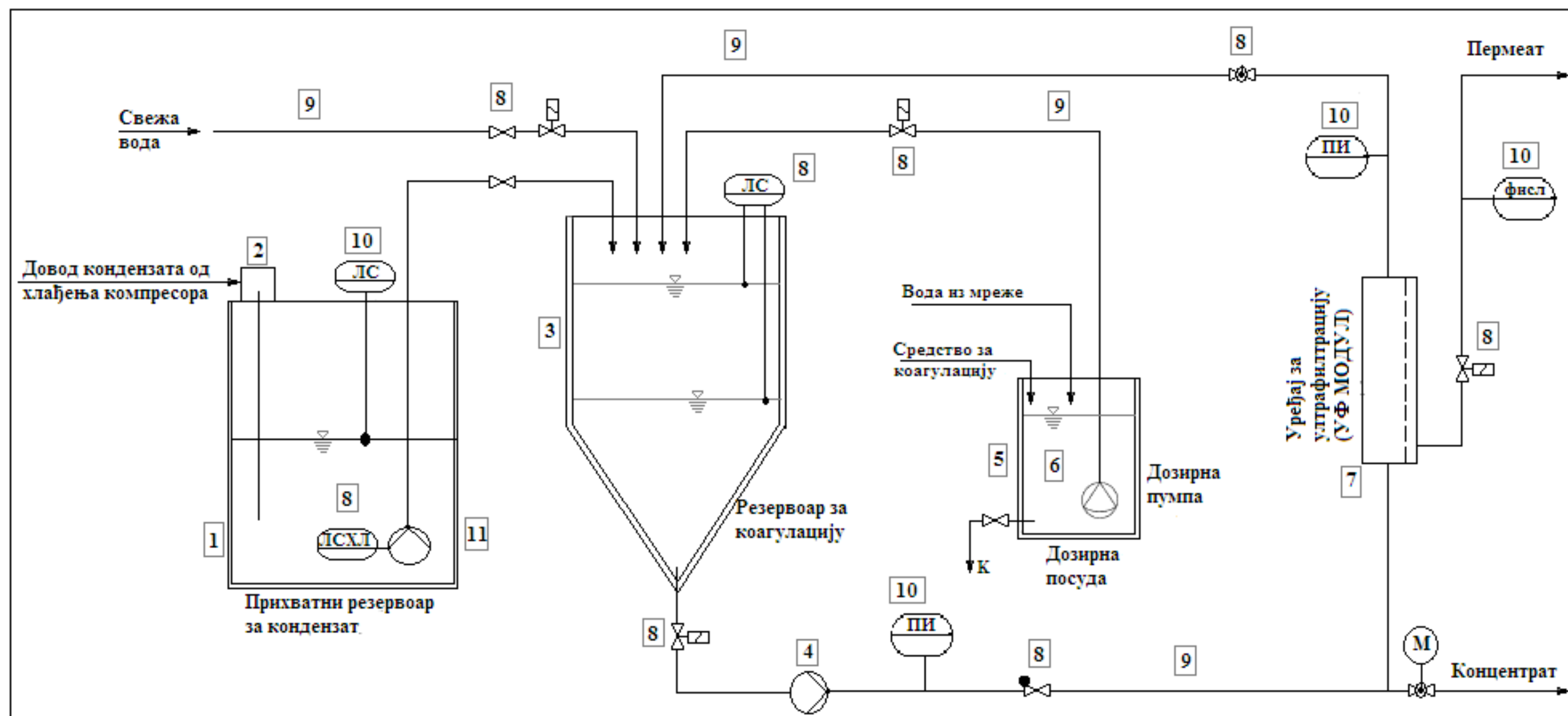
На слици 4.6. је приказана технолошка шема једног ултрафилтрационог уређаја у третману отпадне емулзије која настаје у погону машинске обраде метала. У овим погонима се емулзија користи за хлађење радног предмета (вратило, осовина, зупчаник и слично) и алата (стругарски нож, глодало, брусни камен и слично).

Отпадна емулзија се скупља у прихватном резервоару, након чега се обавља деемулгација уз дозирање потребног средства и на УФ модулима (формирани од специјалних мембрана за ову намену) се развија пермеат (чиста вода), а на другу страну се одводи концентрат.

На слици 4.7. је приказан сличан пример, само што је овде реч о пречишћавању кондензата од хлађења компресора који се користе у рафинеријама. Кондезат се сакупља у прихватном резервоару и препумпава на процес коагулације. Овај процес се одвија у засебном резервору за коагулацију, уз дозирање средства за коагулацију, а преко клипно – мембранске дозир пумпе. Овако припремљен кондезат се одводи на УФ уређај где се на једну страну одводи пермеат, а на другу страну концентрат. Пермеат је таквог квалитета, да се може поново користити за хлађење компресора [9].



Слика 4.6. Технолошка шема постројења за пречишћавање отпадних емулзија процесом ултрафилтрације [9]



Слика 4.7. Технолошка шема постројења за пречишћавање конденсата од хлађења компресора процесом ултрафилтрације [9]

4.7 Предности МБР технологије

1. Поједностављена изградња уређаја:

- компактност и мала величина уређаја,
- боље уклапање у околину,
- могућности изградње уређаја подземно или надземно,
- олакшано комплетно наткривање чиме је омогућено смањење буке и спречено ширење непријатних мириса,
- мембране замењују велики број процеса карактеристичних за конвенционални начин обраде, па је укупна потребна површина уређаја знатно мања (до 80% у односу на конвенционални поступак са трећим степеном чишћења),
- могућа брза изградња,
- једноставна уградња унутар постојећих система.

2. Омогућено је систематско повећање капацитета према стварним потребама.

3. Веома висока ефикасност уклањања отпадних материја:

- могућност директне, поновне употребе пречишћене воде,
- наводњавање,
- испирање санитарних уређаја,
- технолошка вода,
- потпуно уклањање бактерија,
- редукује количину хемикалија ,
- уклања и споро разградиви ВРК₅.

4. Систем добро подноси широки распон органских оптерећења:

- отпоран на неравномерност улазног оптерећења,
- квалитет воде је константан, независан од улазних вода,
- систем је погодан за чишћење тешко оптерећених отпадних вода.

5. Лако управљање уређајем због високе аутоматизованости:

- мала зависност од људског фактора,
- није потребан стални надзор,
- поједностављено управљање и одржавање постројења,
- смањени трошкови одржавања,
- знатно смањени погонски трошкови.

6. Мала количина вишка корисног муља:

- обрађени муљ по квалитету одговара муљу који се може користити у пољопривредне сврхе.

7. Нема ризика од губитка биомасе:

- микроорганизми остају у биолошком резервоару све време,
- омогућен развој врстама које се теже развијају чак и у хладнијим климатским условима.

8. МБР уређаји спадају у тзв. Green Technology (зелену технологију).

9. МБР уређаји омогућавају потпуно управљање отпадним водама (Total Waste Water Management).

5. Примери примене мембранских процеса за припрему воде за различите намене

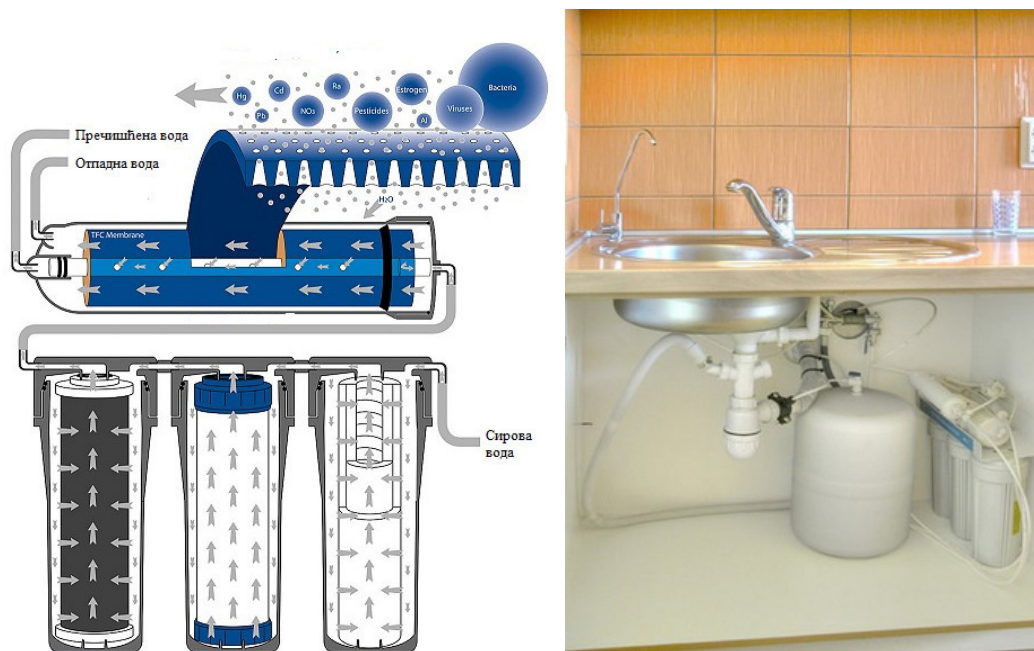
Мембранском технологијом (сепарацијом) воде могуће је уклонити низ штетних и нежељених материја и микроорганизама. Из тог разлога, њен спектар примене је велики. Она се код пречишћавања воде може користити на почетку у фази припреме (предтретману), као главни поступак пречишћавања или као завршни поступак.

Ово зависи од потребног квалитета, тј. дозвољене количине појединих материја и микроорганизама у финалном производу. Примену неког од поступака мембранске филтрације уместо неке од метода конвенционалног начина пречишћавања воде, одређују, поред жељеног квалитета воде и економско – експлоатациони параметри. У почетку, мембранска филтрација се користила искључиво за пречишћавање воде у војне сврхе, и то само у САД, где се овај поступак пречишћавања воде и почео користити [7].

5.1 Додатно пречишћавање пијаће воде за домаћинства

Због нестабилности квалитета воде у дистрибуционим системима све више је у примени додатно пречишћавање пијаће воде за употребу у домаћинствима помоћу малих кућних уређаја.

Ти уређаји су компактни, малих димензија и садрже у себи све елементе који су потребни за мембранско пречишћавање воде. Они се као готов производ налазе на тржишту и произвођачи их испоручују са границијом квалитета излазне воде.

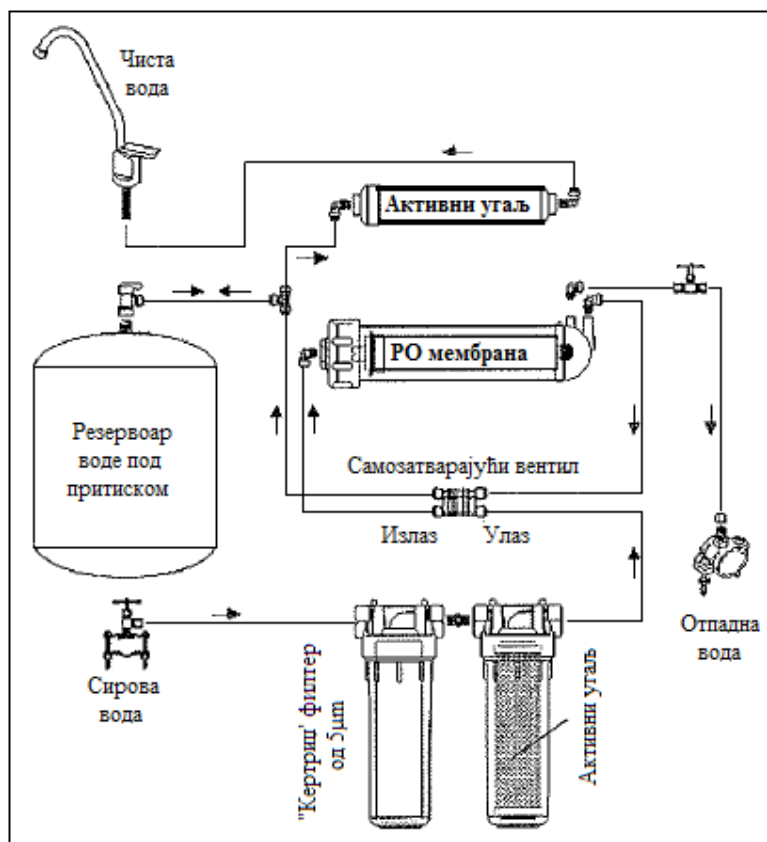


Слика 5.1. Мембранско пречишћавање воде у домаћинствима

У системима за додатно пречишћавање воде овог типа користи се реверзна осмоза којом се уклањају или смањују укупно раствориве материје за 90%. При томе често се користи додатни предтретман воде у филтерима са активним угљем у циљу адсорпције органских материја мање молекулске масе. После реверзне осмозе често се користе субмикронски филтери у циљу уклањања преосталих честица, као и неко од средстава за финалну дезинфекцију.

Оваквим малим, кућним уређајима за пречишћавање воде, могу се уклонити трихалометани, угљоводоници и тешки метали као што су олово и алуминијум.

Шематски приказ уређаја за пречишћавање воде у домаћинству приказан је на слици 5.2. [8].

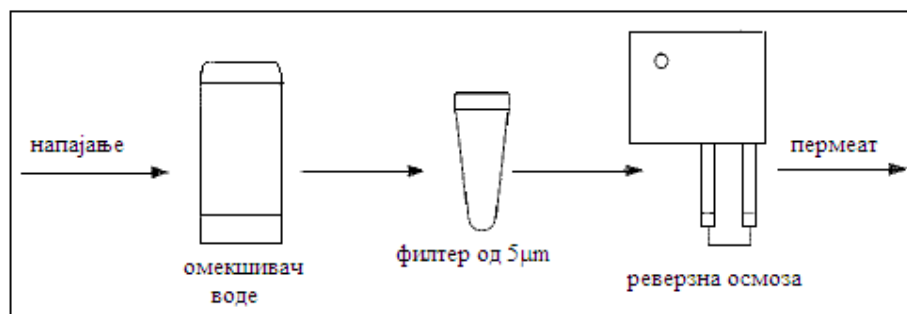


Слика 5.2. Шема уређаја са РО поступком за додатно пречишћавање пијаће воде за употребу у домаћинствима [8]

5.2 Пречишћавање воде за дијализу бубрега

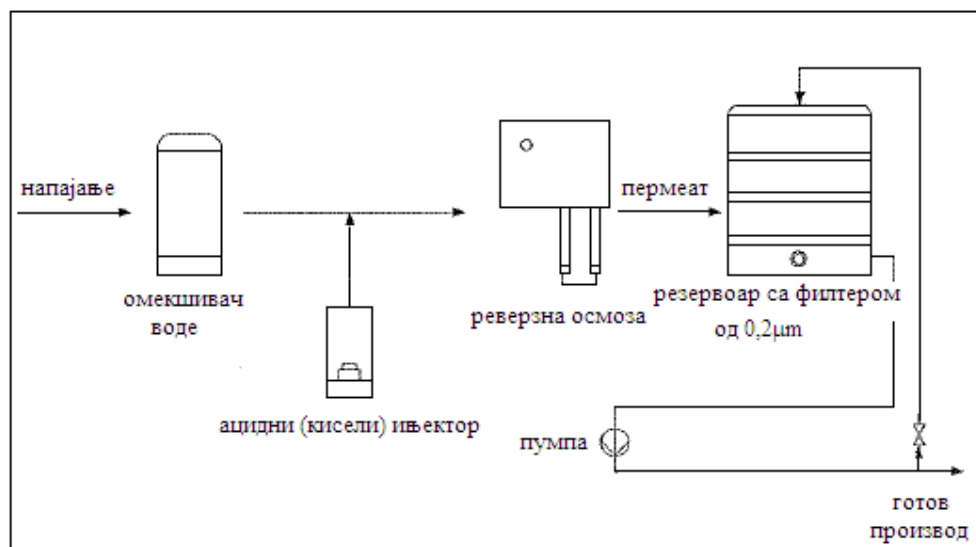
Пречишћавање воде за дијализу бубрега се разликује у зависности од протока воде коју треба пречистити. Тако је код стандардног поступка дијализе бубрега за једног пацијента капацитет уређаја 38 l/h. При томе је потребно претходно припремити воду неким од поступака из предтретмана воде. У предтретмну воду, врши се њено омекшавање, а затим филтрирање у предфилтеру величине отвора од 5µm. Затим се

поступком мембранске сепарације, односно реверзне осмозе добија 49 l/h пермеата, тј. пречишћене воде. Шематски приказ пречишћене воде за дијализу бубрега мањег капацитета (за једног пацијента) приказан је на слици 5.3.



Слика 5.3. Шема система пречишћавања воде за дијализу бубрега (за једног пацијента) [8]

Код већих система за дијализу бубрега, који опслужује до 15 пацијента, капацитети уређаја су 9,5 l/min. Овде се такође прво врши омекшавање воде, а затим реверзна осмоза при чему је капацитет пермеата 584 l/h. После реверзне осмозе налази се складишни резервоар са сигурносним вентилом и ваздушним филтером од 0,2 μm. Транспорт и континуална рецикулација пречишћене течности врши се пумпом од нерђајућег челика [7].



Слика 5.4. Шема система пречишћавања воде за дијализу бубрега (за петнаест пацијента) [8]

5.3 Пречишћавање воде за потребе фармацеутске индустрије

Воде које се користе у фармацеутској индустрији морају да задовоље врло високе захтеве у погледу квалитета. Ове воде спадају у ултра чисте воде, тј. воде са минималном количином растворивих материја, што је веома значајно због низа хемијских реакција у којима овакве воде као растварачи учествују. Њихова стерилност у погледу микроорганизама је такође важна.

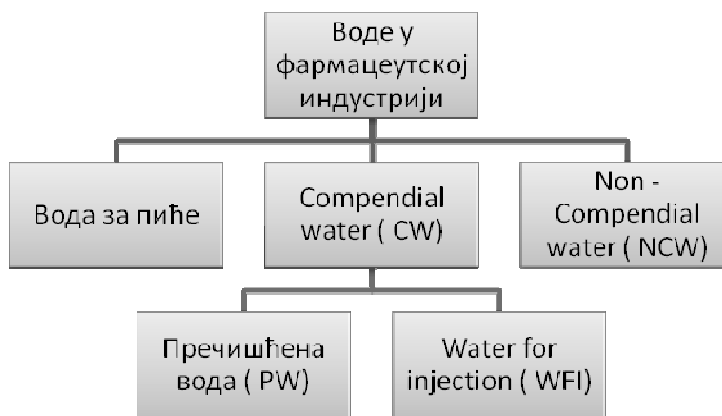
Користе се као компоненте за разне фармацеутске препарате, као и за прање и испирање технолошке и лабораторијске опреме.

Високи захтеви квалитета воде условили су коришћење скупе опреме за припрему, чија цена зависи од потребног квалитета финалне воде, напојне воде, типа и капацитета постројења.

Пројектовање, израда и одржавање система за добијање ултра чистих вода заснива се на смерницама ISPE (Internacional Society for Pharmaceutical Engineering) и препорукама FDA (Food and Drug Administration).

Воде које се користе у фармацеутској индустрији подељене су у три квалитативне групе:

1. Вода за пиће мора да задовољи критеријуме које прописује EPA (Environmental Protection Agency), Европска заједница или у нашим условима Правилник о хигијенској исправности воде за пиће.
2. Compendial Waters (CW) – квалитет вода прописује „United States Pharmacopeia“ (USP) или „European Pharmacopeia“ (EP).
3. Non - Compendial Water (NCW) – квалитет ових вода прописује корисник, односно произвођач, у зависности од конкретних потреба.



Слика 5.5. Врсте воде у фармацеутској индустрији [8]

Систем за припрему ултра чистих вода чине два подсистема – предтретмана и финални третман. За обезбеђивање квалитета финалне воде и продужавање века уређаја који се користи за њено добијање, посебна пажња посвећује се предтретману напојне воде.

Од типа уређаја који се користи у процесу финалне припреме, дефинишу се и допуштене концентрације појединих материја у сировој води, односно врста неопходне претходне припреме. У табели 5.1 приказани су процеси који обухватају предтретман.

Табела 5.1. Предтретман напојне воде [8]

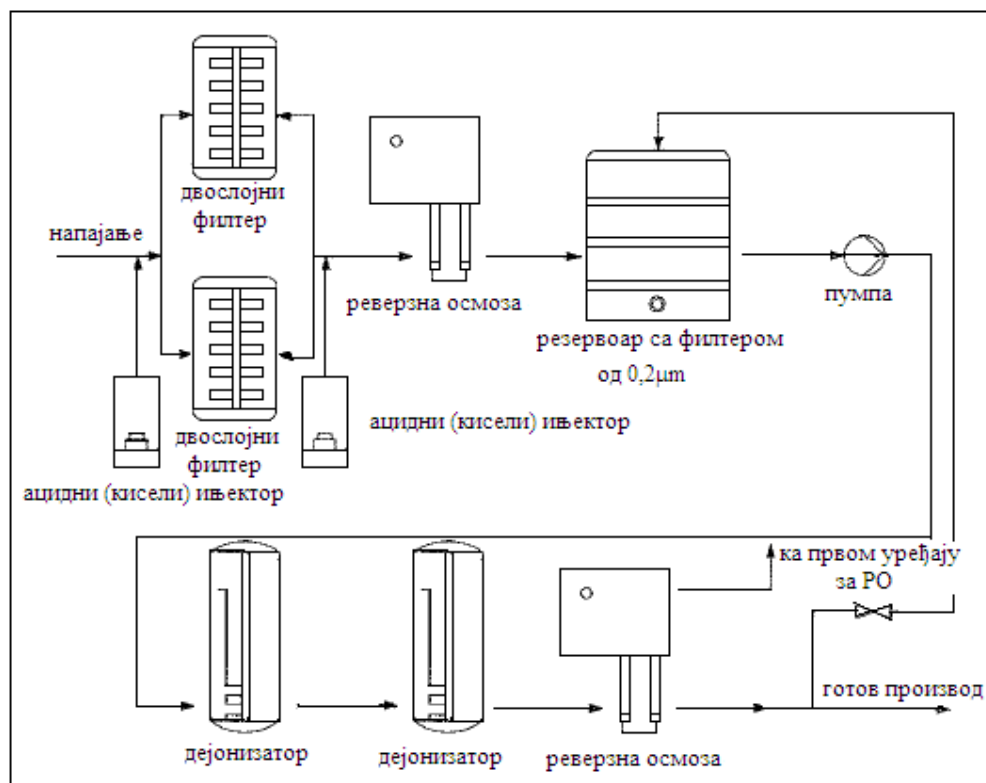
Механичка обрада	Хемијска обрада		Микробиолошка обрада
Уклањање суспендованих материја	Уклањање хлора	Уклањање магнезијума и хлора	Микробна контрола
- вишеслојни филтери - кертриџ филтери	- активни угаљ - хемијско ињектирање	- омекшивач	- UV зрачење - хлорисање - озонизирање

Пречишћена вода се добија поступцима дејонизације (јонске измене), реверзне осмозе (РО) и дестилације. Сирова вода за добијање пречишћене воде мора да задовољи услове квалитета за пијаћу воду.

Уређаји за реверзну осмозу (РО) за свој рад не захтевају складиштење већих количина хемикалија, а ни класичну регенерацију. Тако се РО поступак у последњих 25 година наметнуо као најприхватљивији у пречишћавању воде. Предност у односу на поступак јонске измене је у елиминисању потребе постављања већих резервоара хемикалија за регенерацију и постројења за неутрализацију отпадних вода. За процес РО ради заштите мембрана потребан је одређени предтретман напојне воде, ради уклањања суспендованих материја, хлора, гвожђа, мангана, калцијума, магнезијума, итд.

Уобичајени системи пречишћавања обухватају предтретман воде неким од дезинфикационих средстава, најчешће хлором. У оквиру предтретмана врши се и корекција рН вредности. После овог врши се двослојна филтрација, после које се приступа процесу реверзне осмозе. Најчешће се користи двостепени систем реверзне осмозе. Пречишћена вода одлази у складишни резервоар, који поседује сигурносни вентил и ваздушни филтер од 0,2µm.

У систем пречишћавања најчешће је укључен и додатни поступак јонске измене, како би вода која долази на финалну обраду процесом реверзне осмозе била што боље припремљена, а што има за резултат очување мембрана за реверзну осмозу и висок квалитет добијене воде на крају процеса (слика 5.6.) [8].



Слика 5.6. Шема система пречишћавања воде (са двостепеном РО) за фармацеутску употребу [8]

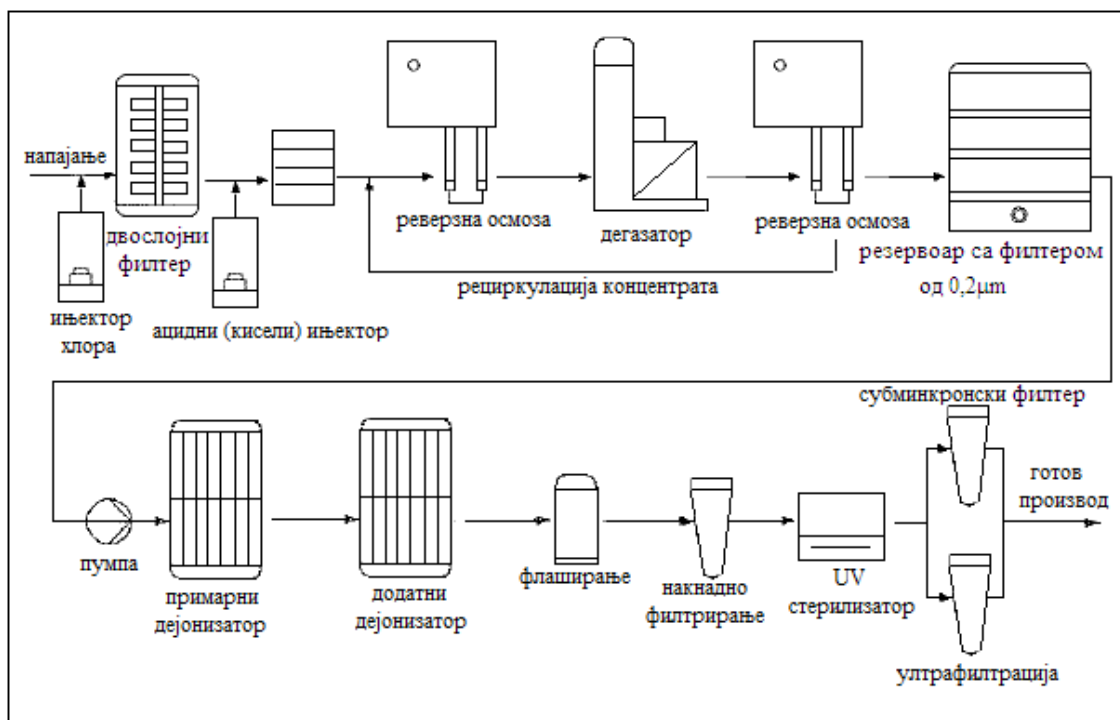
5.4 Пречишћавање воде за електронску индустрију

Процес производње полупроводника захтева ултра чисту воду високог квалитета у циљу постизања захтеваних стандарда. Из тог разлога често се примењују најсавременији технолошки поступци прераде воде, као што су мембрански процеси пречишћавања.

Од мембранских технолошких поступака прераде воде, најчешће се користи реверзна осмоза у радном и финалном поступку прераде, док се остали поступци могу користити у току предтретмана (нпр. микрофилтрација). Вода се у предтретману хлорише и филтрира у грубим филтерима.

После обављеног основног третмана воде, приступа се завршном полирању квалитета воде најчешће UV стерилизаторима.

Шема производње ултра чисте воде за електронску индустрију приказана је на (слици 5.7.) [8].



Слика 5.7. Шема система пречишћавања воде за електронску индустрију [8]

5.5 Пречишћавање воде која се флашира

Вода која се флашира може бити различитог порекла. Најчешће су то подземне, изворске и минералне воде, које се након одређеног третмана флаширају и пласирају на тржиште.

Из оваквих вода најчешће је потребно уклонити мутноћу, гвожђе, манган, амонијачни азот, трагове метала, као и органске материје у складу са важећим стандардима за флаширане воде. При томе веома је важно да минерализација остане не промењена, ако су у питању природне минералне воде.

Из воде је потребно одстранити још и резидуал хлора, а затим извршити потпуну дезинфекцију, за које су најпогоднији UV стерилизатори. Механичка филтрација на крају процеса се обавља на стандардном филтеру.

У зависности од квалитета воде, могу се применити алтернативне технологије као предтретмани у процесу припреме воде:

- аерација, двослојна филтрација, завршна дезинфекција,
- аерација, двослојна филтрација, филтарција на гранулисаном активном угљу, завршна дезинфекција,
- озонизација, двослојна филтрација,
- озонизација, филтрација на гранулисаном активном угљу, завршна дезинфекција.

После предтретмана примењује се стандардни поступак допунског третмана воде који обухвата дезинфекцију UV зрацима и механичку филтрацију ($1\mu\text{m}$ и $0,2\mu\text{m}$).

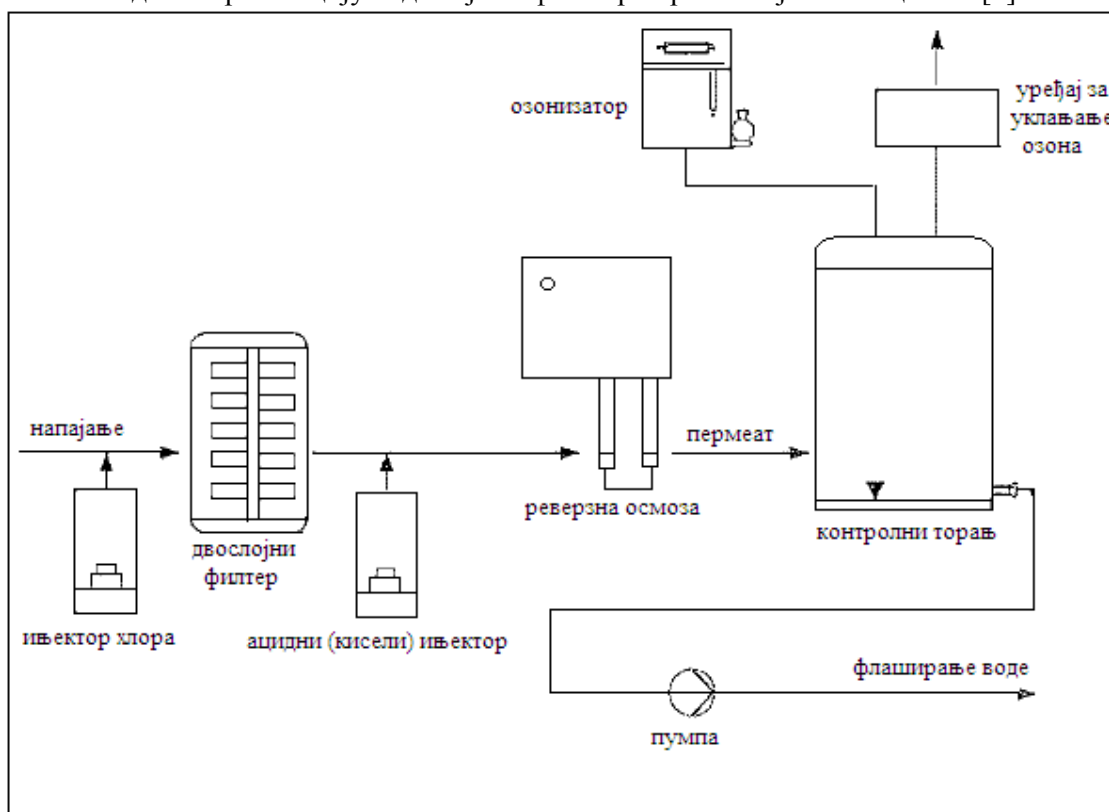
Мембрански процеси имају све већу примену у пречишћавању воде за флаширање, нарочито вода са већом концентрацијом соли. У ту сврху од свих мембранских процеса сепарације најефикаснији је процес реверзне осмозе.

Реверзна осмоза је нарочито ефикасна и код пречишћавања воде са високом концентрацијом натријума. У том случају процес деминерализације воде обухвата предтретман (дозирање хлора, двослојна филтрација, подешавање вредности рН воде), затим систем за реверзну осмозу, озонизацију са контактном колоном, као и дистрибуционе системе (цевоводи и пумпе).

Вода која се пречисти одлази у резервоар пречишћене воде, одакле се одводи на додатни третман. Прво се врши дезинфекција воде UV зрацима, затим механичка филтрација (филтери од $1\mu\text{m}$) и коначно стерилна филтрација (филтери од $0,2\mu\text{m}$).

Ток воде се после додатног третмана дели се на две линије. Једна линија је предвиђена за воду која се флашира, а друга линија је предвиђена за прање боца и остале неопходне потребе.

Систем за деминерализацију воде која се флашира приказан је на слици 5.8. [8].



Слика 5.8. Шема система пречишћавања воде која се флашира [8]

5.6 Пречишћавање воде за производњу пића

Вода у процесу производње пића је кључни чинилац који даје жељени прописани квалитет производа. Она се користи како у производњи алкохолних и безалкохолних, тако и газираних и негазираних пића.

Приликом пречишћавања воде за производњу пића уклањају се непожељне раствориве материје попут карбоната и хлора и врши се побољшавање укуса воде. Уколико вода садржи значајну концентрацију соли, неопходна је потпуна деминерализација воде неким од поступака мембранске сепарације (најчешће реверзном осмозом). Оваква деминерализације воде се може користити и за разблажавање алкохолних пића.

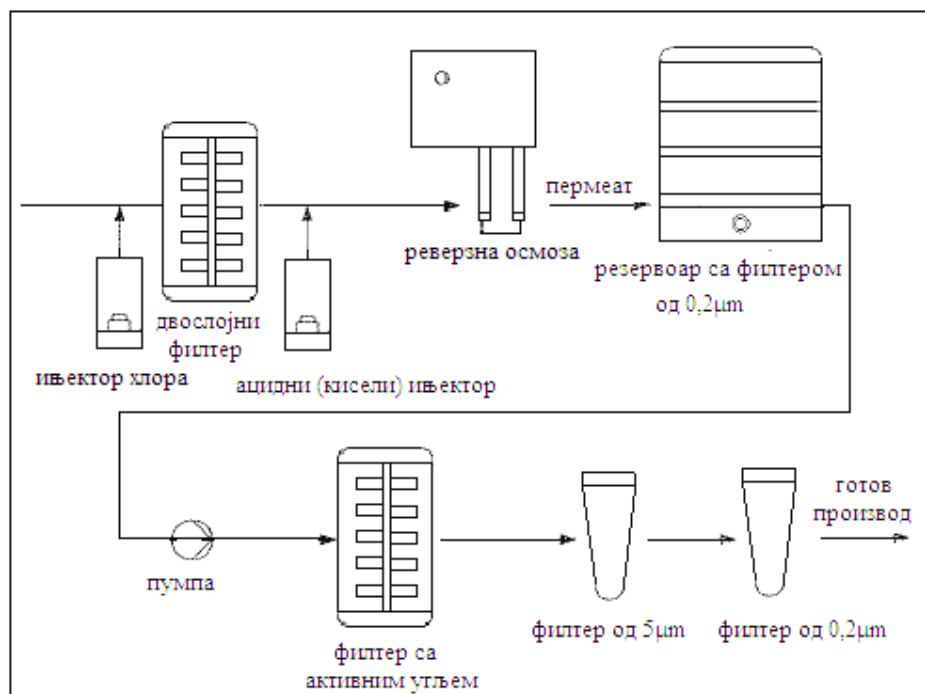
Код пречишћавања воде за производњу газираних пића, сокова и сирупа прво је потребно редуковати мутноћу, садржај гвожђа, амонијачног азота и органских материја у складу са важећим стандардима. Осим тога, неопходно је извршити омекшавање воде и снизити тврдоћу до неопходне вредности. Имајући у виду да се вода користи за производњу пића, треба претходно одстранити резидуал хлора, а затим извршити потпуну дезинфекцију UV зрацима, као и механичку филтрацију на стерилном филтеру.

Предтретман сирове воде исти је као и у случају предтретмана воде за флаширање. После предтретмана вода одлази у резервоар. Вода се затим из резервоара пумпама одводи до постројења за омекшавање, а након тога у резервоар за регенерацију.

Реверзна осмоза може бити стандардни процес пречишћавања воде у припреми процесне воде, нарочито у случају веће концентрације соли у води и прописаним захтевима за ниском концентрацијом натријума.

На слици 5.9. приказан је процес пречишћавања воде који обухвата предтретман (дозирање хлора, двослојну филтрацију, подешавање рН вредности), систем за реверзну осмозу, складишни резервоар са ваздушним филтером од 0,2 μm , дистрибуциони систем (цевоводи и пумпе) и накнадну филтрацију на активном угљу и механичку филтрацију (5 μm и 0,2 μm).

На крају процеса производње могуће је извршити додатни третман воде, попут UV зрачења, ради дезинфекције и контроле раста микроорганизама [8].



Слика 5.9. Шема система пречишћавања воде у производњи пића [8]

6. Прорачун мембранског постројења

Идејно решење постројења за обраду комуналних отпадних вода, капацитета 50.000 еквивалентних становника извршено је посматрањем просечних параметара и препорука стручне литературе и произвођача опреме. Улазни параметри су најчешће пројектне вредности, јер би за одређивање тачних у неком конкретном случају, било неопходно пажљиво мерење протока комуналне отпадне воде у главном колектору.

Потребно би било извршити и систематско мерење свих физичких, хемијских и биолошких карактеристика у дужем временском периоду у различитим временским интервалима и климатским условима. Оптимизација решења била би потпуна применом шире техно-економске анализе.

У Водопривредној основи Републике Србије, за временски пресек 2021. год. предвиђене су следеће норме потрошње воде, за градске и приградске кориснике:

- | | |
|--|------------------------|
| ○ количине за домаћинства: | 230 l / кор./дан |
| ○ потребе индустрије из јавних водоводних система: | 170 l / кор./дан |
| ○ комуналне и јавне потребе (ресторани, болнице...): | 90 до 100 l / кор./дан |
| ○ губици воде у систему (процена 18%): | до 100 l / кор./дан |

Укупно: 580 до 600 l / кор./дан

За сеоско становништво:

- | | |
|---|------------------|
| ○ количине за домаћинства: | 210 l / кор./дан |
| ○ потребе животиња, јавне службе, губици: | 180 l / кор./дан |

Укупно: 400 l / кор./дан

Потребно је истаћи да у Водопривредној основи РС, ове вредности, пре свега, имају смисао резервисања капацитета у постојећим и потенцијалним извориштима и да би реална потрошња воде морала бити мања, у складу са тежњама о рационалној потрошњи воде, и ближа савременим вредностима потрошње у развијеним земљама (испод 200 l / кор. дан).

Почетни подаци:

$N_{st} = 50.000$ - 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:

$$N_{st,k} = N_{st} \cdot (1 + p)^n = 50000 \cdot (1 + 0.01)^{40} = 74443$$

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:

$$\dot{V}_{k,st} = N_{st,k} \cdot \dot{V}_{k,ES} = 74443 \cdot 0,350 = 26055 \frac{m^3}{dan}$$

Проценат повећања потрошње воде у домаћинствима у пројектном периоду:

$$p_1 = 1\%$$

Укупан проток комуналних вода на крају пројектованог периода:

$$\dot{V}_k = \dot{V}_{k,st} \cdot \left(1 + \frac{p_1}{100}\right)^n = 26055 \cdot \left(1 + \frac{1}{100}\right)^{40} = 38792 \frac{m^3}{dan}$$

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

$$\dot{V}_k = \frac{\dot{V}_k}{24} = \frac{38792}{24} = 1616 \frac{m^3}{h}$$

Просечна дневна потрошња у данима са минималном потрошњом:

$$\dot{V}_{k,min}^d = k_{d,min} \cdot \dot{V}_k = 0,4 \cdot 1616 = 646,4 \frac{m^3}{h}$$

Просечна дневна потрошња у данима са максималном потрошњом:

$$\dot{V}_{k,max}^d = k_{d,max} \cdot \dot{V}_k = 1,6 \cdot 1616 = 2585,6 \frac{m^3}{h}$$

Минимални часовни проток:

$$\dot{V}_{k,\min}^h = k_{h,\min} \cdot \dot{V}_{k,\min}^d = 0,2 \cdot 646,4 = 129,28 \frac{m^3}{h}$$

Максимални часовни проток:

$$\dot{V}_{k,\max}^h = k_{h,\max} \cdot \dot{V}_{k,\max}^d = 2,5 \cdot 2585,6 = 6464 \frac{m^3}{h}$$

Усвојени меродаван проток воде за прорачун је:

$$\dot{V}_{k,\max}^h = 6464 \frac{m^3}{h}$$

Специфично органско оптерећење инфлуента на улазу је:

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

Укупно органско оптерећење постројења за пречишћавање је:

$$B_V = BPK_5 \cdot N_{st,k} = 50 \cdot 74443 = 3722150 \frac{gBPK_5}{dan} = 3722,15 \frac{kgBPK_5}{dan}$$

Концентрација органских материја инфлуента у постројење за пречишћавање:

$$B_V^h = \frac{B_V}{24} = \frac{3722,15}{24} = 155,1 \frac{kgBPK_5}{h}$$

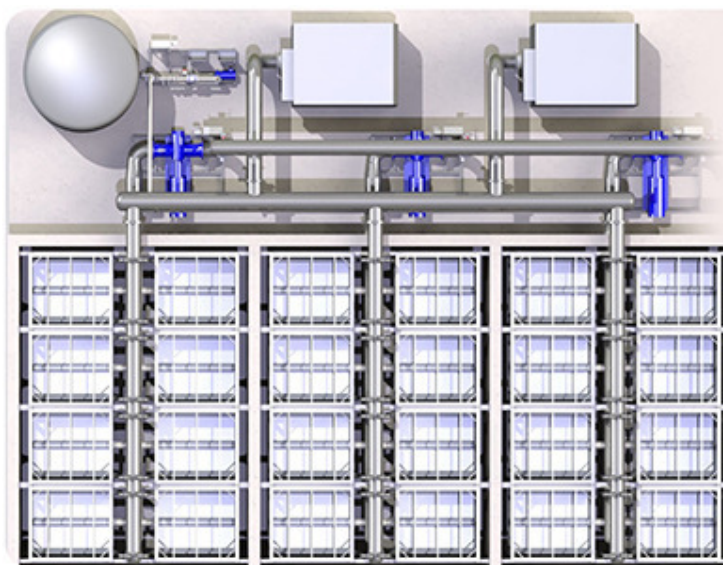
$$C_{ul} = \frac{B_V^h}{V_{k,\max}^h} = \frac{155,1}{6464} = 0,02399 \frac{kgBPK_5}{m^3}$$

На основу пројекција становништва, процењене потрошње воде по глави становника, степена прикључености, односа количине комуналих отпадних вода и индустријских отпадних вода, из каталога произвођача изабрано је постројење које је пројектовано на проток од $39000 \frac{m^3}{dan}$. То је количина воде која је пројектовна за рад постројења од 40 година, ако је природни прираштај 1%. Постројење се простире на површини од $2000m^2$.

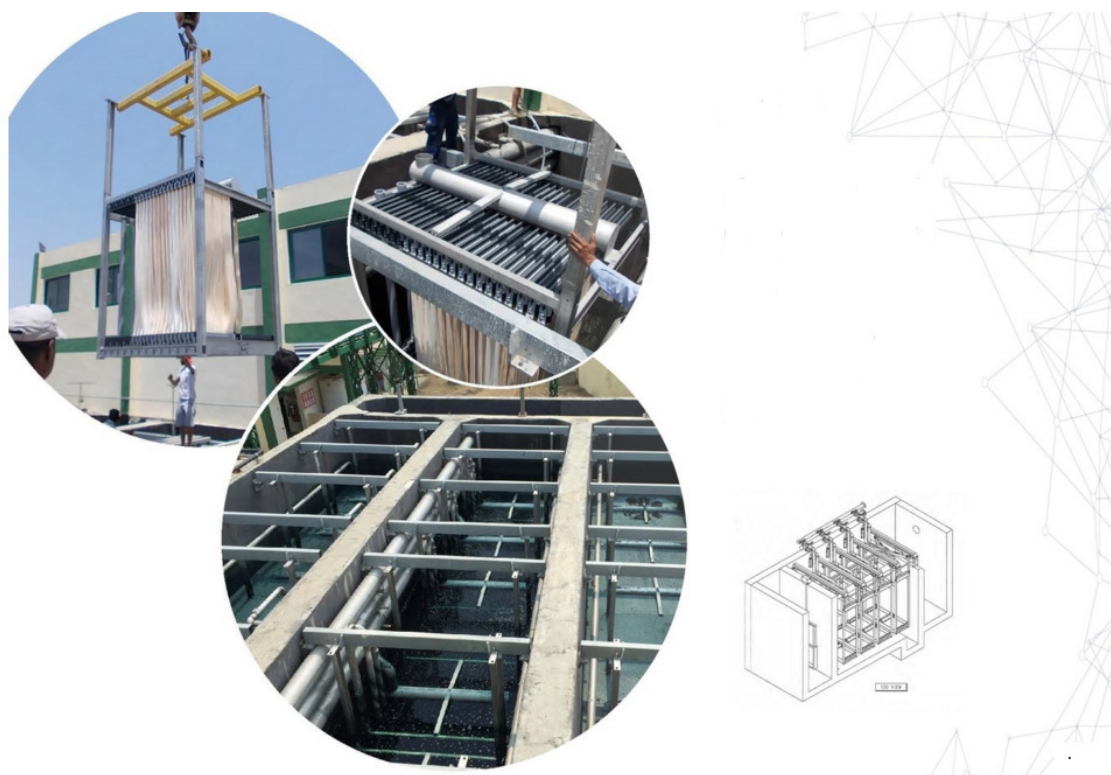
На слици 6.1 дат је 3Д приказ датог МБР постројења.



Слика 6.1. 3Д модел МБР постројења



Слика 6.2. Шема МБР модула



Слика 6.3. Шема монтаже модула

7. Закључак

У дипломском раду приказана је савремена технологија третмана воде и она спада у неконвенционалне принципе пречишћавања. За разлику од конвенционалних, неконвенционални системи могу да се користе у случају када постоји довољно мали број еквивалент становника (у руралним подручјима). Због захтева за очувањем животне средине изградња ових постројења је оправдана чак и у руралним срединама где се отпадне воде испуштају у околину и тако наносе велику штету.

Велики број градова има проблеме са водоснабдевањем квалитетном пијаћом водом. У неким случајевима нема довољних количина сирове воде, или је њен квалитет такав да се не може на прихватљив начин прерадити до квалитета воде за пиће. За градове који се налазе на обалама река испитују се могућности и начини прераде речне воде до квалитета воде за пиће као једини расположиви ресурс који може да обезбеди сталну количину воде.

На основу свега изнесеног, чињеница је да МБР технологија добија на значају и широј примени све више. Брзи развој и усавршавање МБР технологије прати развој индустрије мембранске опреме. Узевши у обзир горе наведене мане и предности за широку примену МБР технологије, тренд примене МБР технологије, у задње две декаде, је растући на тржишту широм света. Упркос томе да су евидентиране потешкоће у раду МБР уређаја или рецимо да је сложеност ове технологије захтевна и у погледу одржавања система, треба истаћи предности МБР уређаја које су пресудне за избор ове технологије, као што су:

- значајно мањи простор потребан за уређај,
- битно лакша контрола мириса јер се постројење може затворити,
- висока концентрација суве масе муља омогућава рад МБР уређаја за потребе јако оптерећених индустријских инфлуената, посебно кад се ради о индустријама које тако пречишћен ефлуент користе поново као технолошку воду,
- висока концентрација муља, уз задржавање муља преко 25 дана, карактеристике су пречишћавања активним муљем уз симултану стабилизацију муља. Овакав муљ није подложен даљем труљењу,
- применом мембрана омогућено је и уклањање бактерија, протозоа и већине вируса,
- дуже време задржавања муља омогућава разградњу молекула који се теже биолошки разграђују,
- потпуно је могуће даљинско управљање целим системом путем аутоматизације мониторинга и контроле рада уређаја у целисти.

Иако је примена мембранске технологије за третман отпадних вода у свету у порасту са низом својих предности, мора се узети у обзир осетљивост МБР уређаја, пре свега, у погледу одржавања мембрана, а затим и погонским трошковима који нису мали.

Зато, даља усавршавања МБР технологије која су у току требала би побољшати поузданост и сигурност у раду МБР уређаја, посебно у погледу отпорности мембрана на запушавање. Таква побољшања директно се одражавају на поступке чишћења, учесталост чишћења, мембране дуже трају, а самим тиме су оперативни трошкови знатно нижи. Нови типови мембрана и МБР уређаја побољшавају већ и досадашњи висок степен пречишћавања. Још један сегмент врло је важан у правцу даљег истраживања, а то је једноставна и брза замена мембранских уложака, компактност и мала површина као и могућност мобилности уређаја. Већи број инсталација, као и побољшања у раду МБР уређаја ће се одразити и на пад цена мембранских модула, што је често фактор ограничења у примени ове технологије у процесу пречишћавања отпадних вода.

Мембранска постројења представљају решења водоснабдевања насеља водом која по количини и квалитету одговара стандардима воде за пиће. Настојање наше земље да се приближи развијеним земљама света захтева значајнију примену нових процеса и технологија у циљу поштовања све оштријих захтева у погледу квалитета отпадне воде и воде за пиће.

На нашу велику жалост, Србија се налази на самом дну листе Европских земаља по степену сакупљања и пречишћавања отпадних вода јер овакви пројекти захтевају веома велике инвестиције.

Литература

- 1) Далмација Б., Кнежевић Т., Клашња М., Чукић З., Танасковић М., Карловић Е., Хемијски аспекти, Квалитет воде за пиће – Препоручени стандарди и нормативи, Савезни завод за заштиту и унапређење здравља, Београд, 1996.
- 2) Далмација Б., Бенак Ј., Чукић З., Клашња М. и др., Припрема воде за пиће у светлу нових стандарда и норматива, Мембрански процеси у припреми воде за пиће, Природно – математички факултет, Институт за хемију, Нови Сад, 1997.
- 3) Институт за водопривреду “Јарослав Черни”, Завод за водоснабдевање, канализацију, заштиту вода и специјална пројектовања, Генерални пројекат мембранског постројења за припрему воде за пиће града Зрењанина, Београд, 1997.
- 4) Институт за водопривреду “Јарослав Черни”, Завод за водоснабдевање, канализацију, заштиту вода и специјална пројектовања, Главни пројекат мембранског постројења за прераду воде у Доњем Милановцу, 2007.
- 5) Правилник о хигијенској исправности воде за пиће, Сл.лист СРЈ, бр. 42/98
- 6) The Dow Chemical Company, Filmtec Membranes – Products and Specification Guide, USA, 1999.
- 7) Fu P., Ruiz H., Thompson K., Spangenberg C., Selecting membranes for removing NOM and DBP precursors, Journal AWWA, 1994.
- 8) Мартин Богнер, Миодраг Станојевић и др., Пречишћавање и филтрирање гасова и течности, ЕТА, Београд, 2006.
- 9) Мартин Богнер, Миодраг Станојевић и др., О Водама, ЕТА, Београд, 2013.
- 10) <http://www.kochmembrane.com/Learning-Center/Configurations/> (јул 2017 год.).
- 11) <http://www.chem.info/news2009/11/reverse-osmosis> (јул 2017 год.).
- 12) <https://worldtracker.org> (август 2017 год.)
- 13) <http://www.mlit.go.jp/common/000213616.pdf> (август 2017 год.)
- 14) <http://www.trusselltech.com> (август 2017 год.
- 15) <http://www.membranes.com> (август 2017 год.)