

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Богдан П. Проковић

**Пројекат изградње мембранског постројења за
третман слане воде са посебним освртом на
техничку документацију постројења**

Крагујевац, 2015.

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Технологије и постројења за пречишћавање воде и ваздуха

Број индекса: 316/2013

Богдан П. Проковић

**Пројекат изградње мембранског постројења за
третман слане воде са посебним освртом на
техничку документацију постројења**

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Вања Шуштершич, ванр. проф - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да опише принцип рада мембранског постројења са посебним освртом на третман морске воде, а у циљу добијања воде за пиће. Кандидат треба да опише постројење за третман морске воде и уради прорачун 3Д модел.

Препоручена литература:

- [1] Шуштершич В., *Технологије и постројења у припреми воде за пиће и третману отпадних вода*, Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу, 2014.
- [2] Пећар К., Бајтал Х., *Ултрафилтрација у припреми питке воде*, Енергетика, господарство, екологија и етика, бр. 4, стр 132-135, 2011
- [3] Бајкин Ј., Војиновић–Милорадов М., *Преглед најчешће коришћених поступака пречишћавања пијаће воде у Канади*, стручни рад, Факултет Техничких наука, Нови Сад, 2009

Крагујевац, септембар 2015. године

Ментор:
Др Вања Шуштершич, ванр. проф.

Резиме:

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

У оквиру овог мастер рада проучен је принцип рада ултрафилтрације и мембранских процеса и његова примена у добијању пијаће из слане воде.

Уједно, урађен је 3Д модел постројења за потребе десалинизације слане воде у Кувајту на основу почетних података задатих од стране купца. Приказ овог 3Д модела рађен је у софтверском пакету CATIA, V5R20.

Кључне речи: мембрански процеси, ултрафилтрација, слана вода.

Abstract:

One of the newer technologies that are increasingly used in the preparation of drinking water are membrane processes. These processes for several decades used for desalination of salt water, and since the early eighties and also for removing suspended and dissolved solids from underground and surface waters. Efficiency, reliability and relatively low operating costs of purification have influenced all large-scale use of membrane systems.

In this master thesis studied the working principle of ultrafiltration and membrane processes and its application in obtaining drinking from saltwater.

There is also 3D model of the plant for desalination of saltwater in Kuwait on the basis of the initial data given by the customer. This 3D model was presented in a software package CATIA, V5R20.

Key words: membrane processes, ultrafiltration, salt water.

Садржај:

1. Увод	1
1.1 Слана вода и њене карактеристике	2
1.2 Карактеристике пијаће воде.....	4
2. Предтретман слане воде	10
2.1 Ултрафилтрација.....	11
2.2 Повратно прање ('back wash') и испирање.....	13
2.3 DAF предтретман	14
3. Мембрански процеси	15
3.1 Микрофилтрација	16
3.2 Ултрафилтрација.....	16
3.3 Нанофилтрација	16
3.4 Реверзна осмоза.....	17
3.5 Сепарација гасова	18
3.6 Дијализа	18
3.7 Мембранска дестилација.....	18
3.8 Електродијализа	18
3.9 Подела мембрана	19
4. Мембрански модули.....	20
4.1 Плочасти мембрански модули	20
4.2 Спирално увијени мембрански модули	21
4.3 Тубуларни мембрански модули.....	23
4.4 Капиларни мембрански модули	24
4.5 Мембрански модули са шупљим влакнима.....	25
4.7 Проблеми који настају при мембранским процесима	26
4.8 Контрола квалитета воде.....	27
5. Хемијска припрема воде.....	28
6. Постројење за третман слане воде у циљу добијања пијаће воде	29
6.1 Технички опис постројења.....	31
6.2 Карактеристике система.....	49
7. 3Д модел постројења за добијање пијаће воде у Кувајту.....	51
8. Закључак.....	57
9. Литература	58

1. Увод

Значај воде за људе, живи свет, екосистеме и планету у целини, веома је велики и многострук, почев од тога да је вода услов живота, па до многих других функција. Вода је једна од најважнијих основних материја у природи и неопходна је за одржавање биљног, животињског и људског живота.

Вода у природи је најраспрострањенија материја. Налази се у атмосфери, хидросфери, криосфери, биосфери и литосфери.

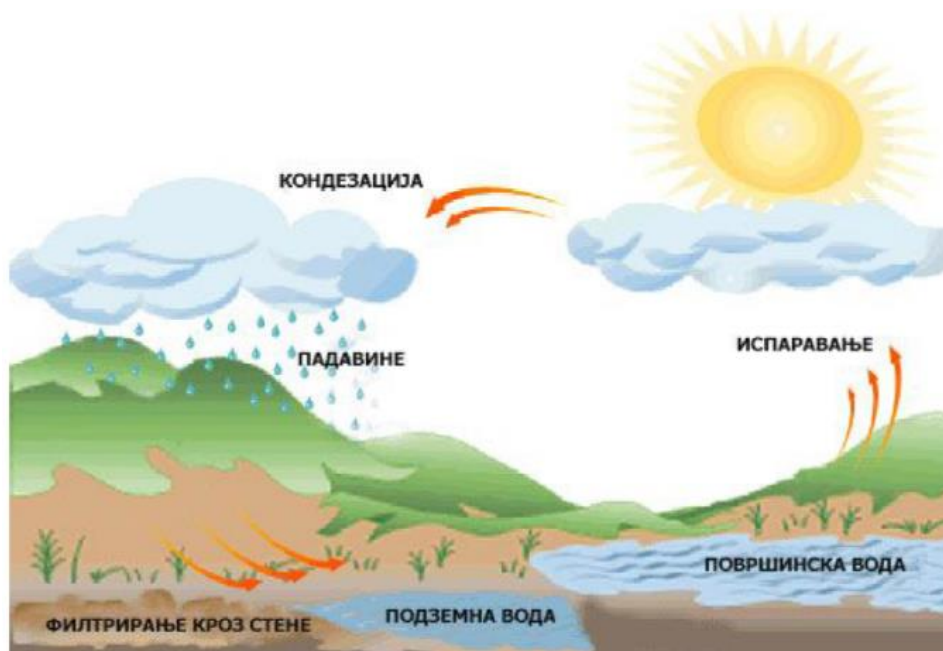
Вода налази најразличитију примену у човековом деловању: служи за пиће, за припрему хране, за одржавање личне хигијене, стамбене и урбане хигијене, користи се у пољопривреди, индустрији, саобраћају, енергетици, риболову, рекреацији итд.

Буран технички прогрес XX века проузроковао је исцрпљење природних ресурса, загађење атмосфере, тровање водне средине, уништавање растиња итд., што се негативно одражава на људско здравље. Већина река, канала и неких језера у Србији загађено је у мањој или већој мери. Наше највеће реке Дунав, Сава, Тиса и Велика Морава припадају III класи вода, што значи да су делимично погодне за наводњавање и за неке индустријске сврхе, али не и за пиће док се не прераде.

Ради стварања услова за рационално коришћење и употребу вода, заштиту квалитета вода и заштиту од штетног деловања вода граде се водопривредни системи, који спадају међу најсложеније људске творевине. Њихова изградња, одржавање и погон захтевају веома висока средства која у значајној мери оптерећују друштвену економију. Да би се ови трошкови минимизирали неопходно је да се у планирање развоја и управљање водопривредним системима уведу квалитативно садржајнији приступи који се већ одавно примењују у развијеним земљама. Такви приступи захтевају целовито и свеобухватно вредновање карактеристика хидролошког режима.

Укупна запремина воде на земљи је око 1,4 милијарде km^3 од чега на мора и океане отпада више од 97%, а од остатка: 22% је подземна вода, 77% је лед лоциран на ледницима и половима остављајући мање од 1% за снабдевање свеже воде која учествује у хидролошком циклусу. Око половине овог 1% односи се на реке, језера и мочваре.

Све воде на земљи су међусобно зависне и налазе се у сталном природном кружењу. Хидролошки циклус условљен је дејством сунчеве енергије и силом гравитације, а састоји се од испаравања, преноса водене паре ваздушним масама, формирања облака и атмосферских падавина као и површинског и подземног отицања које утиче у реке, језера, мора и океане (слика 1). Захваљујући овом циклусу стално се врши измена и формирање слатких вода на Земљи и на тај начин се одржава да слатке воде остану релативно незагађене, бар у областима где нема велике индустрије и где је људска активност смањена.



Слика 1 - Хидролошки циклус

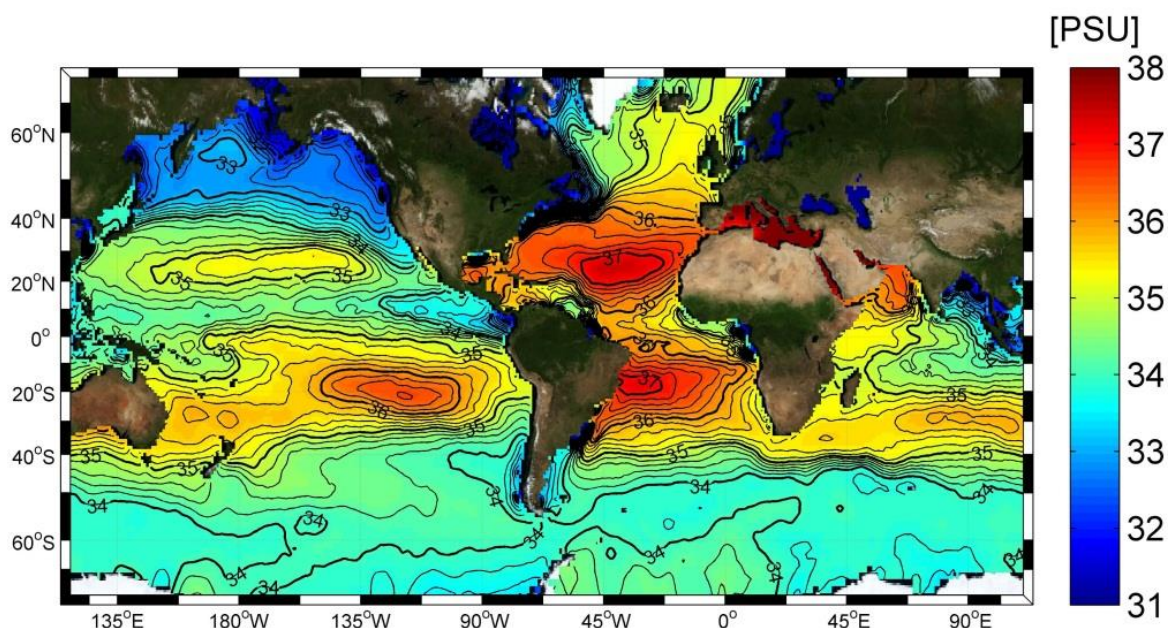
Вода је прва и најважнија човекова потреба. Без хране човек може издржати просечно до 26 дана, а без воде само пар дана (највише 7). Вода сачињава око 70% наше телесне тежине, а губимо је јако брзо и јако често. Уколико се овај губитак не надокнађује долази до дехидрације, исушивања коже, наглог губљења телесне тежине и у крајњем стадијуму, смрти. [1]

Морска вода представља неограничен и поуздан извор за снабдевање водом популације широм света. Бруталан технички прогрес 20-ог века проузроковао је исцрпљивање природних ресурса, загађење атмосфере, тровање водене средине, што се негативно одражава на расположивост пијаће воде у свету.

Изгледа невероватно, али Србија са Косовом има више пијаће воде од Немачке или Велике Британије, док су Босна и Херцеговина и Румунија једнако релативно снабдеване водом као и САД. [2]

1.1 Слана вода и њене карактеристике

Просечни салинитет океана је између 32 и 37 ‰. Најсланије је Црвено море и Персијски залив (40 ‰) где је испаравање воде велико, а уливање свеже воде из река релативно мало. Битно је споменути и Мртво море (које је у ствари језеро), чији салинитет износи невероватних 33‰, а знамо да је, ако се изрази у проценту, просечни салинитет океана од 3 до 4%! На слици 2 приказан је салинитет на глобалном нивоу.



Слика 2 - Салинитет на глобалном нивоу

Укупне растворене чврсте материје или TDS (енгл. Total Dissolved Solids) је израз који се користи како би се описале неорганске соли и мале количине органских материја које су присутне у води. Мерна јединица је mg/l. Главни део соли чине катјони калцијума, магнезијума, натријума и калијума, затим анјони карбоната, хидрогенкарбоната, хлорида, сулфата и нитрата. Растворене материје у води могу утицати на њен укус.

На основу измерених вредности TDS-а оцењује се укус воде који је приказан у табели 1.

Табела 1 – Квалитет воде

Квалитет воде	TDS (mg/l)
Одлична	< 300
Добра	300 – 600
Довољна	600 – 900
Лоша	900 – 1200
Неприхватљива	> 1200

Електрична проводљивост воде је способност воде да проводи електричну енергију. Та способност зависи од присуства јона, њихове укупне концентрације, покретљивости и валенцији јона и од температуре мерења. Јединица мере електропроводљивости је микросименс по центиметру (mS/cm). Измереном вредношћу електричне проводљивости можемо проценити степен минерализације воде и тако оценити о којој је врсти воде реч, што је приказано у табели 2. [3]

Табела 2 – Електропроводљивост воде

Тип воде	Електропроводљивост (mS/cm)
Јако чиста вода	< 0,05
Питка вода	< 1000
Минерална вода	1000 – 3000
Умерено слана вода	> 1000
Морска вода	> 50000

1.2 Карактеристике пијаће воде

Физичко–хемијске особине воде за пиће

У физичко–хемијске особине воде за пиће спадају: температура, боја, мутноћа, мирис, укус, тврдоћа, и киселост – рН.

Температура воде за пиће креће се од 8 до 12°C. Порастом температуре вода постаје бљутава, пије се у већим количинама и разблажује желудачне и цревне сокове, што погодује размножавању патогених бактерија. Уколико је вода ниже температуре, иритира слузокожу органа за варење.

Боја – вода за пиће треба да је без боје. Дозвољена обојеност је до 10° платинокобалтне скале (слика 3).

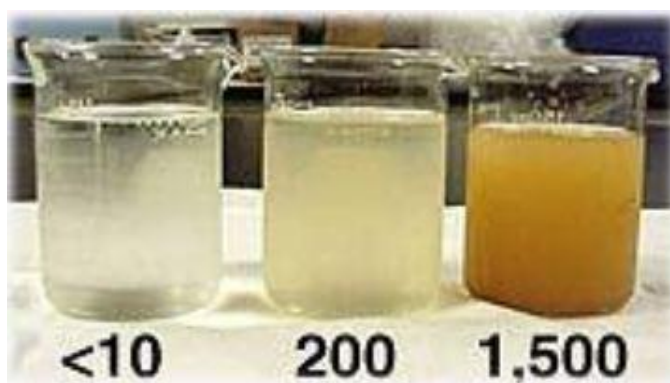


Слика 3 – Неадекватна боја воде за пиће

Мирис – вода за пиће треба да је без мириса. Непријатан мирис може да потиче од распадања органских материја или присутних микроорганизама

Укус – Непријатан укус воде настаје због њеног загађења киселинама из рудника и загађеним водама индустрије. Квалитетна вода за пиће мора бити питка, пријатна и освежавајућа.

Мутноћа – Мутноћа настаје због садржаја суспендованих и колоидних материја. Мутноћа је карактеристична за површинске, крашке и плитке подземне воде. Дозвољена мутноћа воде за пиће износи 1 NTU (нефелометријска јединица). Мутна вода се сматра загађеном (слика 4).



Слика 4 – Мутноћа воде у зависности од вредности NTU

Тврдоћа – зависи од количине растворених соли калцијума, магнезијума, алуминијума и гвожђа. Тврдоћа воде се изражава у степенима (енглески, француски, немачки). Најчешће се изражава у немачким степенима, а један степен тврдоће означава 10 mg калцијумоксида (CaO) у једној литри воде (табела 3). Последице тврде воде дате су на слици 5.

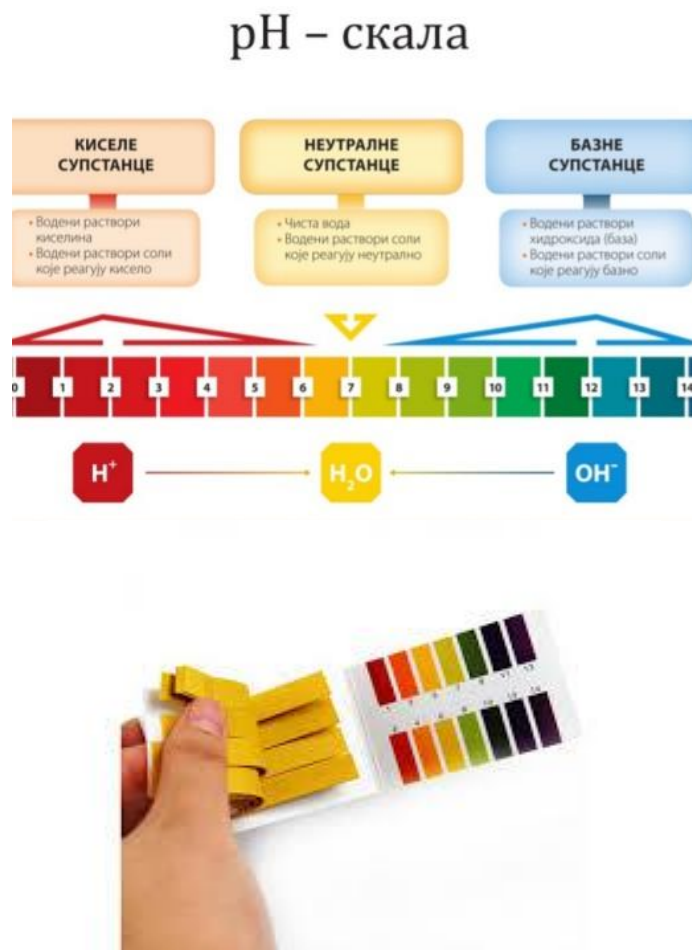
Табела 3 – Степен тврдоће воде

Тип воде	Степен тврдоће
Меке воде	4 до 8 dH
Лако тврде	12 до 18 dH
Тврде	18 до 30 dH



Слика 5 – Каменац као последица тврде воде

pH воде – означава њену киселост. Вода за пиће треба да буде неутрална, односно да има pH од 6,8 до 8,5. Висока киселост, pH испод 2,5 доводи до неповратних промена на епителу коже, а висока базност, pH изнад 11 до иритације ока, коже и слузокоже органа. Најпростији начин мерења pH вредности јесте коришћењем лакмус папира (слика 6).



Слика 6 – pH скала и лакмус папир

Неорганске хемијске у води за пиће и њихов утицај на здравље

У неорганске хемијске материје које се могу наћи у води за пиће спадају: алуминијум, антимон, арсен, бакар, баријум, бор, цијанид, цинк, флуориди, хром, хлориди, кадмијум, калцијум, калијум, магнезијум, манган, натријум, олово и жива.

Алуминијум – дозвољена концентрација је 0,2 mg/l. У већим концентрацијама могуће је негативно деловање на функцију нервних ћелија мозга.

Арсен – присуство у води је могуће услед отпадака из фармацеутске индустрије, индустрије боја и употребе пестицида. Веома је канцероген. Акутно тровање доводи до промена у централном нервном систему, органима за варење и дисајним органима.

Цијанид – јавља се као последица индустријског отпада у водама. Спада у високотоксичне материје. Максимално дозвољена концентрација у води за пиће је 0,05 mg/l. Присуство цијанида у води за пиће доводи до промена у тироидној жлезди, нервном систему и органима за варење.

Флуор – максимална вредност флуорида у води за пиће износи 1,2 mg/l. Веће концентрације доводе до флуорозе костију (изнад 6 mg/l). Више од 2 mg/l доводи до флуорозе на зубима (промене на зубној глеђи) (слика 7). Концентрације изнад 6 mg/l могу довести до смрти.



Слика 7 – Флуороза на зубима

Олово – максимално дозвољена концентрација износи 0,01 mg/l. Спада у групу веома токсичних материја, а има и канцерогена дејства. Тровање оловом доводи до полинеуритиса (упала нерава), енцефалопатије (обољење мозга), анемије и желудачно цревних поремећаја.

Жива – максимално дозвољена концентрација у води за пиће је 0,001 mg/l. У већим концентрацијама оштећује нервни систем и мозак, срчани мишић, доводи до промена у бубрезима и мокраћним каналима, изазива промене на кожи и опадање косе.

Кадмијум – спада у канцерогене материје и акумулира се у бубрезима. Биолошко време полураспада је од 10 – 35 година. Јављају се класични бубрежни симптоми болести, а урину је присутна појава беланчевина и шећера.

Азотне материје – у води, првенствено нитрати и нитрити, али и амонијак су важне са здравственог аспекта. Нитрати, односно нитрити који настају из нитрата су узрочник метхемоглобинемije, најопасније за бебе до 3 месеца. Појава нитрата у води указује на њен лош квалитет. Спадају у групу канцерогених токсичних и мутагених материја. Присуство амонијака у води указује на загађење сирове воде и неодговарајуће дезинфекције. Утиче негативно на мирис и укус воде. [3]

Органске материје

Од органских материја као опасне по здравље треба истаћи ароматичне угљоводонике, бензол у првом реду, полицикличне, ароматичне угљоводонике, бензол(а) пирен, хлороване органске материје, акриламид и епихлорхидрин. Бензол је доказани канцероген. Изазива хематолошке промене, укључујући и леукемију. Сем канцерогених има и мутагена својста. Винилхлорид је хлоровани етан са најмање допуштеном концентрацијом. Доказан је као канцероген. Најизложенија је јетра, мозак, плућа и лимфне жлезде. Дихлоретан је најопаснији по здравље. Веома је токсичан, а спада у групу канцерогених и мутагених материја.

Пестициди

Максимално дозвољена концентрација је 0,03 µg/l, што говори о њиховом негативном утицају на здравље. Алдрин, дијекдрин и хептахлор и хлордан у првом реду оштећују централни нервни систем и јетру. Спадају у групу канцерогена и имају велики потенцијал биокумулације.

Дезинфекциона средства и споредни производи дезинфекције

За решавање бактериолошке исправности воде, користе се разна средства за дезинфекцију: хлор, флуор, озон, сребро, температура и УВ зрачење.

На нашим просторима се вода најчешће хлорише или озонира. Најпознатији споредни производи хлорисања су трихалометани, бромофор, хлороформ, дибромхлорметан и бромидихлорметан.

Трихалометани настају везивањем хлора са органским материјама присутним у води. У води за пиће највише има хлороформа. Он спада у групу канцерогена (рак бубрега). Бромад настаје током хлорисања и озонизације, а спада у групу канцерогена и мутагена. Присуство трихалометана у води је опасно по здравље. Сви имају кумулативна, токсична и мутагена својства.

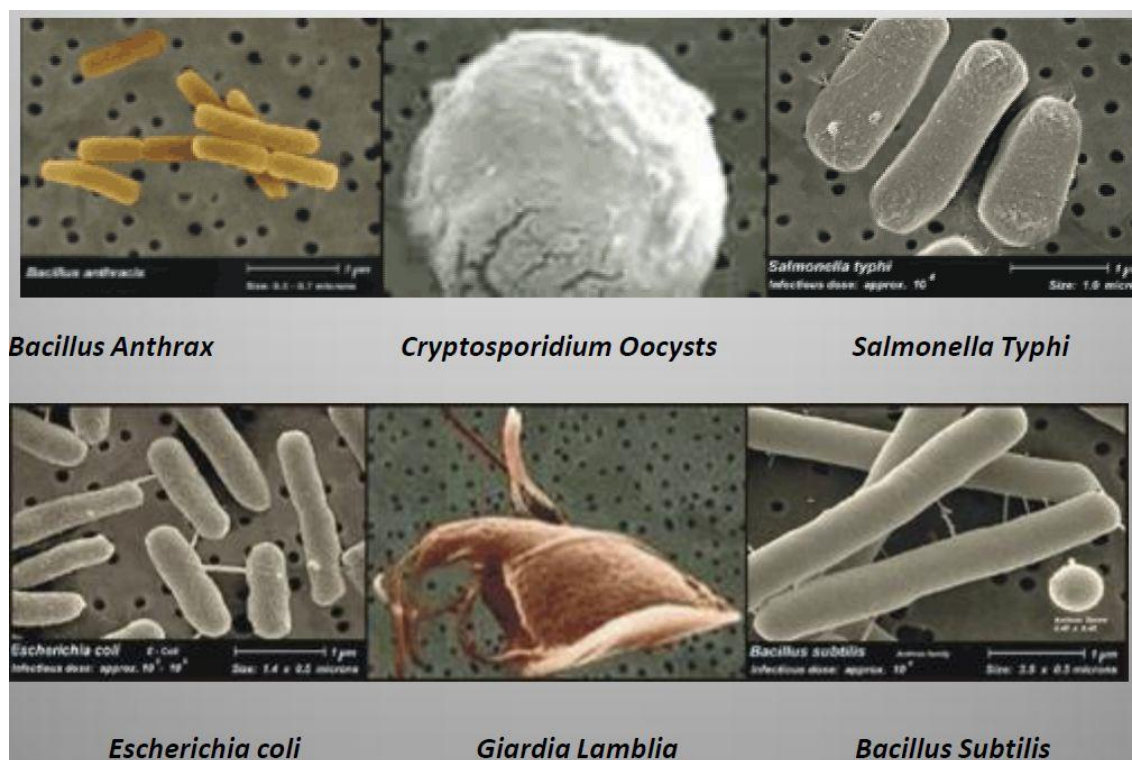
Статистике показују да особе које су конзумирале хлорисану воду у већем проценту оболевају од карцинома органа за варење, нарочито дебелог црева, а жене у 40% случајева од рака дојке ако су пиле хлорисану воду. Веће присуство хлора може довести до поремећаја функције јетре и бубрега, иритације слузокоже нарочито очију. Кожу иритира, дехидрира и доводи до убрзаног процеса старења.

Микробиолошки аспект

Инфективне болести изазване патогеним бактеријама, вирусима и протозоама или паразитима су најпроширенији ризик по здравље, везан за пијаћу воду. Патогени који представљају узрочнике болести, када су присутни у води су: *salmonella* ssp, *shigella* ssp, патогена *escherichia coli*, *vibrio cholerae*, *campylobacter jejuni*, вируси хепатитиса А, *soxaki*, паразити *girardia*, *entameba*, *amebe* итд (слика 8). Најчешћа

лабораторијска испитивања воде за пиће указују на индикаторе фекалног загађења (поплаве, септичке јаме).

Присуство бактерија и вируса као и фекалних индикатора загађења у води није дозвољено. Присуство аеробних мезофилних бактерија у једном ml воде је максимално 100/1 ml. Ове бактерије које се углавном налазе у ваздуху у већим концентрацијама у води могу изазвати цревне поремећаје (проливе, грчеве и повраћање), а дуготрајно присуство и конзумирање такве воде за пиће утиче на смањење имунолошког стања организма.



Слика 8 - Патогени који представљају узрочнике болести

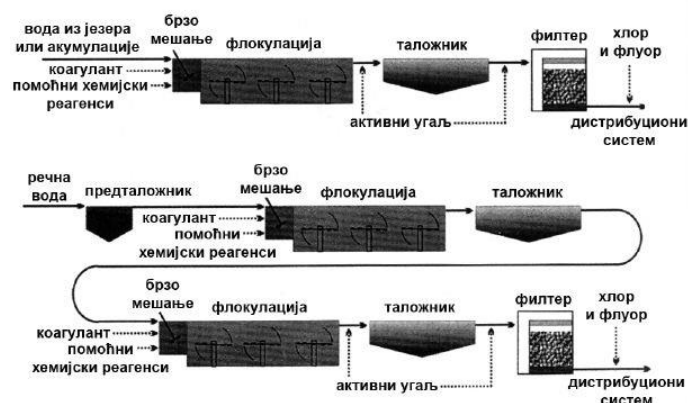
Радиолошки аспект

Концентрација радионуклеида у води за пиће може бити повећана из нуклеарног горивног циклуса, медицинских примена радиоактивних материјала, нуклеарних енергетских постројења, вађења руда и нуклеарних проба. У најопасније радиоактивне елементе убрајамо уран, радон и стронцијум.

Промене у организму одвијају се у ћелијским језгрима. Најосетљивији су лимфоцити, слузокожа, кожа и ендотел (унутрашњи слој крвних судова), везивно ткиво, мишићно и нервно ткиво. Деловањем радиоактивних елемената јавља се малаксалост, губитак апетита, мучнина, поспаност и раздражљивост. Настају и промене у крви: лимфопенија (смањен број лимфоцита), леукопенија (смањен број леукоцита), анемија (малокрвност), некроза костију, леукемија и пад имунолошког стања организма. [3]

2. Предтретман слане воде

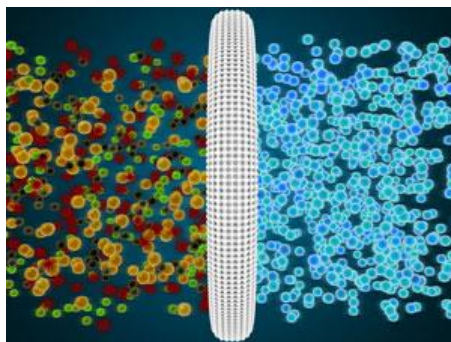
Производња воде за пиће обавља се применом одговарајућих операција и процеса. Погоршавањем квалитета сирове воде са изворишта повећава се број и сложеност операција и процеса које треба применити да би се постигао прописани квалитет воде за пиће (слика 9). Процеси кондиционирања засновани су на физичким, хемијским и биолошким дејствима, којима се постиже уклањање непожељних састојака из сирове воде.



Слика 9 – Сложеност процеса у зависности од квалитета сирове воде

Филтрирање је процес који се у кондиционирању воде користи за уклањање нерастворених материја. Остварује се проласком воде кроз одговарајућу филтерску испуну при чему се након читавог процеса добија вода захтеваних карактеристика.

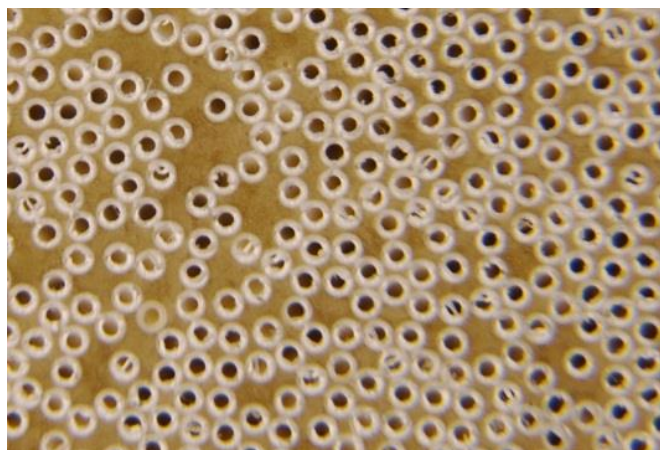
У зависности под којим се условима примењују, технике филтрирања се деле на филтрирање које се одвија у контролисаним условима и филтрирање које се одвија у природним условима. Један од начина филтрирања слане воде у контролисаним условима је ултрафилтрација. Ултрафилтрација није процес који се спроводи само током третирања питке воде. Та метода постаје све важнија у процесу предтретмана тј. пре десалинизације (слика 10).



Слика 10 – Продукт ултрафилтрације

2.1 Ультрафилтрација

Ультрафилтрација је једноставан физички процес који се одвија на порама испуњеној мембрани (слика 11). Под ниским притиском вода која се филтрира долази на мембране, а честице, микроорганизми и органске материје присутне у воду заустављају се на мембранама (филтерска баријера). Разлог томе је микровеличина пора на мембранама које служе као филтарска баријера.



Слика 11 – Поре као филтерска баријера

Ультрафилтрацијска мембрана уклања из течности честице веће од 0,01 - 0,1 μm , где се захтева радни притисак од 0,2 до 1,5 МПа. УФ мембране су израђене од полимерних материјала, као што су полисулфонати или полиамиди, који су екструдирани у равне листове и спирално намотани или у шупље цевчице које се налазе у кертрицу (слика 12).



Слика 12 – Приказ УФ

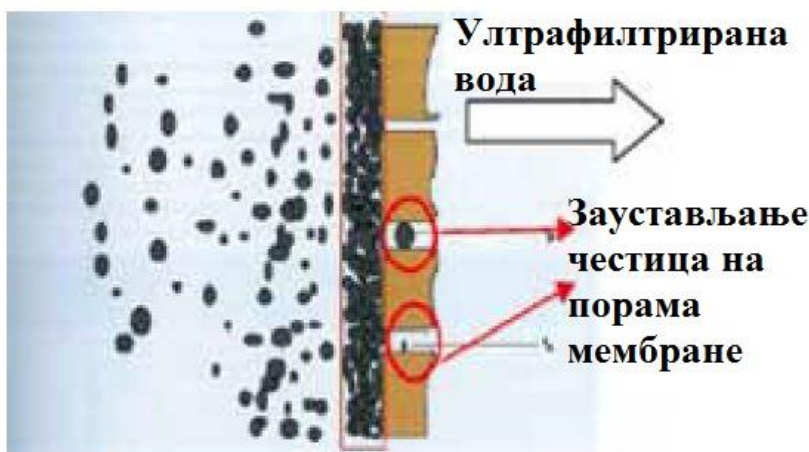
Ультрафилтрација се најчешће користи за комплетно уклањање полена, алги, вируса, бактерија и органских материја. Ультрафилтрација чува равнотежни однос минералних једињења у води, док се истовремено смањује количина отпадних вода.

Најчешће области примене ультрафилтрације су:

- Припрема воде за пиће,
- Добијање воде за пиће из слане воде,
- Индустрија (млечна, производња сира),
- Прехрамбена индустрија (протеини),
- Метална индустрија (уље, сепарација водених емулзија, третман боја),
- Текстилна индустрија,
- Рецикулација отпадне воде.

У поређењу са конвенционалним процесима пречишћавања воде, предност ультрафилтрације као технологије филтрирања је његова изванредна способност уклањања бактерија и микроорганизама из воде. Поре мембрана од 20 nm су довољно мале како би се спречио пролаз чак и вирусима. Сам процес је врло једноставан и сигуран за рад те не захтева додавање било каквих додатних хемијских средстава.

Тренутни технолошки процеси производње ультрафилтрацијских мембранских влакана је у потпуности искључио могућност појаве проблема при раду због пуцања влакана или пролаза онечишћене воде према кориснику. Ультрафилтрацијски системи као и процес чишћења као ультрафилтрацијске јединице су пројектовани за потпуни аутоматски рад с минималним људским фактором. Принцип рада ультрафилтрације дата је на слици 13.



Слика 13 – Принцип рада ультрафилтрације

Највећа предност ультрафилтрације је то што, без обзира на ниво онечишћења улазне воде, филтрирана вода увек задржава исти ниво квалитета и чистоће. Због технолошке изведбе не зависи од промена спољашњих параметара улазне воде и стога пружа поуздано снабдевање квалитетном водом.

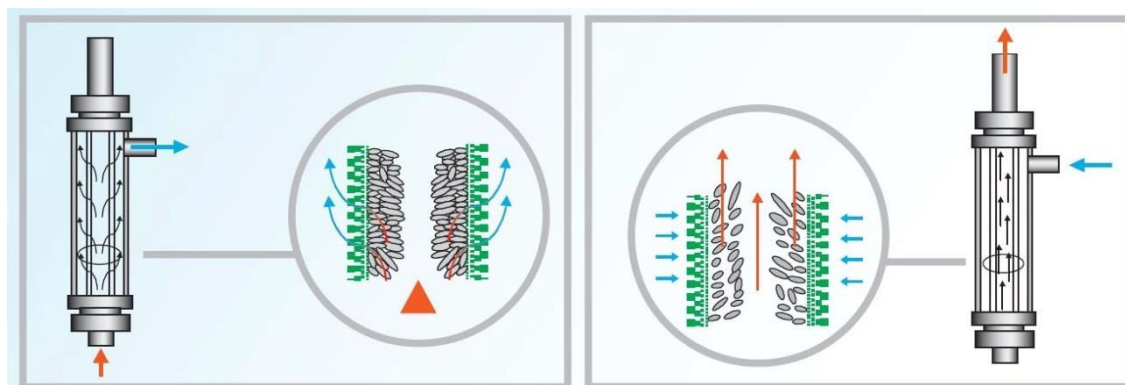
2.2 Повратно прање ('back wash') и испирање

Критеријум за чишћење мембрана је када производња пречишћене воде падне за више од 10 % или када нормализована концентрација соли у пречишћеној води порасте изнад 5 % или када парцијални притисак преко мембрана порасте преко 15 %. Процедура чишћења обухвата:

- Припрему раствора (раствор се припрема на лицу места додавањем потребних количина киселина и база),
- Пажњено концентрата из система,
- Рецикулација раствора за чишћење,
- Натапање мембрана раствором за чишћење.
- Рецикулација под високим притиском,
- Испирање мембрана.

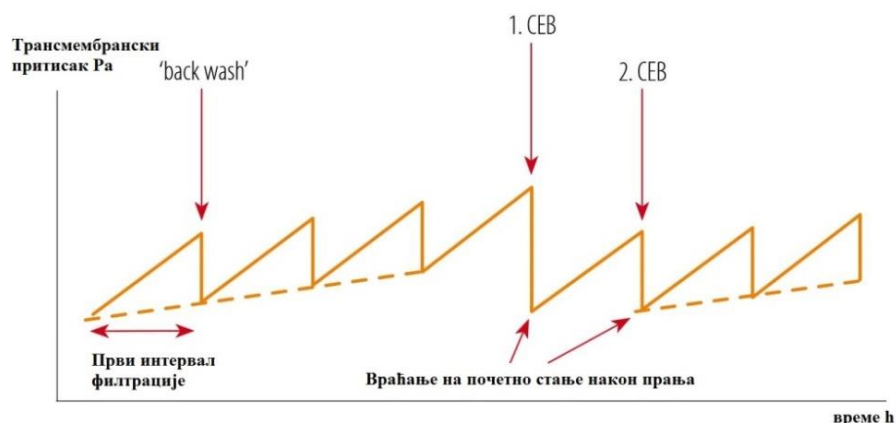
Веома важно је, приликом пројектовања система за ултрафилтрацију предвидети и испирање система, као и хемијски потпомогнуто прање (СЕВ).

Хемијски потпомогнуто прање укључује дозирање минималних количина хемикалија потребних за прање накупљеног концентрат органског и неорганског порекла на површини мембране. Одабране хемикалије за СЕВ-ове су: сулфатна киселина (36% -на), натријумска база (49% -на) и натријум хипохлорид (12% -ни) за периодичну дезинфекцију мембрана. Свака од тих хемикалија дозира се преко властитог дозираних система, односно пумпи којима управља програмирани логички контролер ултрафилтрацијског уређаја. Смер пречишћавања воде као и смер back wash-а дат је на слици 14.



Слика 14 - Смер филтрирања (лево) и back wash (десно)

Као што је већ наведено, хемијски потпомогнуто прање временски је програмирано и засновано је на прањењу параметара система, првенствено ТМП-а (тангенцијалном протоку и трансмембранском притиску) (слика 15). СЕВ-ове је, као и форсирано прање, могуће покренути и ручно. Након завршетка ултрафилтрацијског циклуса, вода одлази у резервоаре питке воде. [4]



Слика 15 – Графички приказ циклуса филтрирања и прања

2.3 DAF предтретман

Још један начин пречишћавања слане воде у оквиру предтретмана јесте DAF поступак (Dissolved Air Flotation). То је један од поступака грубог пречишћавања који се, насупрот таложењу нечистоћа, базира на уклањању нечистоћа путем мехурића раствореног ваздуха у води.

DAF поступак је поступак новијег датума и може се рећи да је тек у замаху. Но обзиром на компактност блокова за DAF поступак и ефикасност процеса, може се рећи да налази све ширу примену. Основа поступка лежи у убризгавању воде под притиском од неких 500 kPa, која је богата раствореним ваздухом, а који почиње да се ослобађа услед пада притиска на атмосферски ниво, формирајући fine мехуриће величине 10-100 μm , који окружују честице нечистоће и смањујући им специфичну густину износе их на површину. Потом се овако сконцентрисана пена са површине воде скида механичким системом. Пречишћена вода сакупља се са дна, помоћу решеткастих цеви, које имају отворе довољно мале да спрече евентуални улазак нечистоћа у ток пречишћене воде (слика 16).

DAF поступак се обично користи када је потребно отклонити суспендоване материје као што су уља или уколико је дошло до изливања нафте из бродова или рафинерија нафте, петрохемијских и хемијских постројења. [5]



Слика 16 – Шема рада DAF система

3. Мембрански процеси

Под мембранском филтрацијом се подразумева потискивање раствора кроз полупропустљиву мембрану под притиском. Током овог процеса нискомолекулске фракције пролазе кроз мембрану док се високомолекулска једињења задржавају и концентришу. Параметар који се односи на својства одвајања мембране је "граница пропустљивости". Појам "граница пропустљивости" се односи на молекулску масу најмањих молекула који се задржава на полеђини мембране. У пракси се често појављују разлике за "границу пропустљивости", а то се објашњава идеалним условима под којима је она одређивана. Мембранска филтрација је подељена на различите типове филтрације у зависности од непропустљивости мембране као и да ли се процес покреће притиском или електричним погоном. Граница пропустљивости у зависности од процеса дата је у табели 4. [6]

Табела 4 - Граница пропустљивости у зависности од процеса

Фракција воде – различите технологије								
Микрона:	0,0001	0,001	0,01	0,1	1	10	100	1000
Примери:	Јони метала	Минералне соли	Колоиди Вируси	Бактерије	Полен			
					Ситан песок			
					Груба механичка филтрација			
					Микрофилтрација			
			Ултрафилтрација					
			Нанофилтрација					
Реверзна осмоза								

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

- процесе који захтевају примену притиска као што су микрофилтрација, ултрафилтрација, нанофилтрација, реверзна осмоза и сепарација гасова или процесе у којима се делимично користи притисак, као што је мембранска метода раздвајања мешавине течности процесом делимичног испаравања кроз непорозну или порозну мембрану,

- процесе који се покрећу разликом концентрација уз одржавање константног градијента концентрације – дијализа,

- термичке процесе – мембранска дестилација,
- процесе на бази електричног потенцијала – електродијализа

3.1 Микрофилтрација

За микрофилтрацију "граница пропустљивости" је између 300.000 и 1.000.000. Овим процесом се одвајају једињења са величином честица од 0,1 μm до 10 μm . Притисак који се обично примењује је у опсегу 0,1 – 0,5 бара. Микрофилтрација се користи за многе индустријске и лабораторијске филтрације. Најзначајније примене микрофилтрације у аналитичким и другим лабораторијама односе се на употребу класичне филтрације с мембранама у форми заменљивих филтара који се често мењају, а већина их је за једнократну употребу. Индустријска употреба микрофилтрације је честа за стерилизацију и бистрење различитих врста пића (пиво, вино, воћни сок) и фармацеутских производа у прехранбеној и фармацеутској индустрији. Врло честа је употреба микрофилтрације у производњи, односно стерилизацији лекова и раствора за директну интравенозну примену и осталим фазама производње лекова.

Микрофилтрација се такође често употребљава за уклањање честица при производњи ултра чисте воде за потребе електронске индустрије где се комбинује са РО и јонском изменом на мешаном филтру.

3.2 Ултрафилтрација

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

Ултрафилтрацијом се уклањају сви вируси и бактерије из воде што је чини и методом дезинфекције. Такође има способност да уклони скоро све микроорганизме из воде. Ултрафилтрација се често користи у биотехнологији за концентровање и одвајање производа као што су ензими, остали протеини и сл. Већина тих система је малог капацитета, али је вредност добијеног производа врло висока. Због психолошке перцепције биотехнологије као модерне и обећавајуће гране често се у истраживачким круговима спомиње ултрафилтрација као метода сепарације у биотехнологији, али употреба у биотехнологији чини врло мали сегмент у њеној укупној употреби.

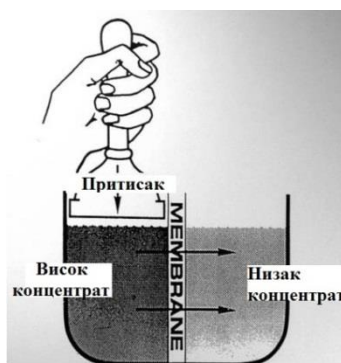
3.3 Нанофилтрација

Ова метода представља одвајање помоћу мембрана које су по карактеристикама између ултрафилтрације и реверзне осмозе. Захтевани радни притисак за ове мембране је између 2 и 4 бара и дају виши проток него мембране код реверзне осмозе, али с друге стране наномембране имају мању способност одвајања него мембране реверзне осмозе. Овим процесом се одвајају једињења у опсегу 0,0001 – 0,01 μm .

3.4 Реверзна осмоза

Иако реверзна осмоза изгледа као компликован систем филтрирања воде, она је у принципу једноставан процес. Реверзна осмоза није нови метод у поступку пречишћавања воде. Од касних 50-их година XX века, поступком реверзна осмоза, под високим притиском (помоћу пумпе) слана или морска вода претвара се у воду за пиће (слика 17).

Данас, реверзна осмоза је најбољи и најпогоднији начин за филтрирање воде. Ова напредна технологија данас је доступна свима и користи се за филтрирање воде у домовима и канцеларијама, доприносећи здравом начину живота.



Слика 17 - Сликавит приказ рада реверзне осмозе

Реверзна осмоза користи полупропусну мембрану која омогућава да само молекули чисте воде прођу кроз њу, одбацујући све загађиваче који су превелики да прођу кроз њене ситне поре. Најмања позната бактерија је величине 0,2 микрона, најмањи вирус 0,002 микрона, а отвор на полупропусној мембрани величине је 0,0001 микрона. Из овог поређења јасно је да ни вируси ни бактерије не могу проћи кроз отвор на мембрани.

Када вода заједно са нечистоћама дође на осмотску мембрану, њен ток се раздваја у два дела: пробојни који пролази кроз отворе мембране и представља пречишћену воду (пермеат) и концентрисани који заједно са задржаним нечистоћама, одлази у одвод у облику техничке отпадне воде (концентрат). Шематски приказ РО мембране дат је на слици 18. [6]



Слика 18 - Шематски приказ РО модула

3.5 Сепарација гасова

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

3.6 Дијализа

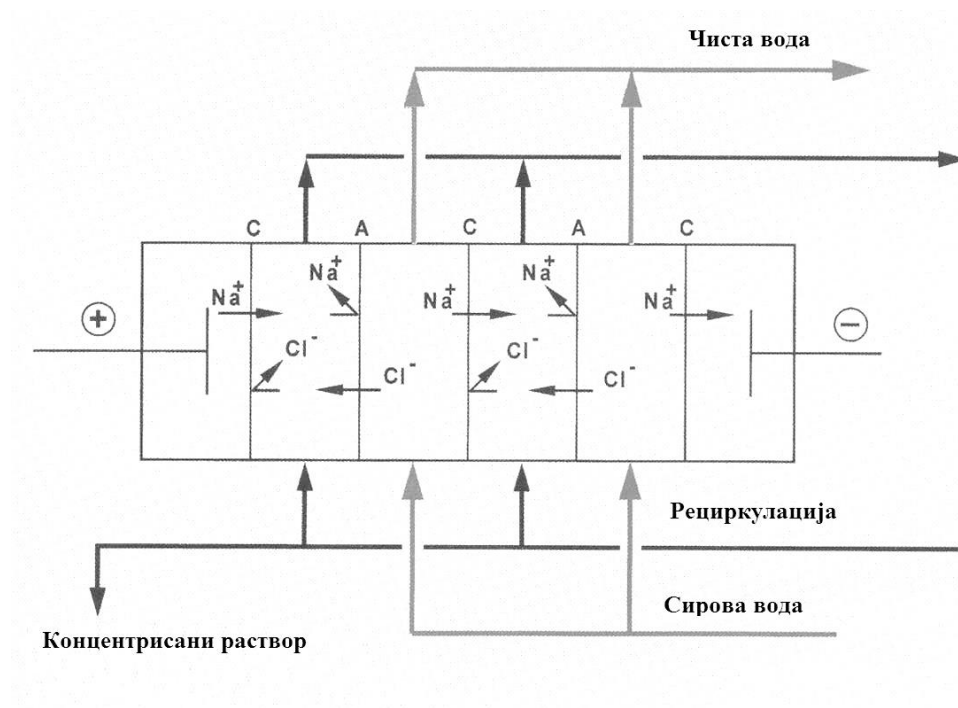
Дијализа представља дифузију растворених супстанци кроз полупропусну РО мембрану.

3.7 Мембранска дестилација

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

3.8 Електродијализа

Електродијализа је пример вођења мембранског процеса уз електричну енергију у коме се дешава селективни транспорт анјона и катјона кроз мембрану. Мембране, које дозвољавају пролазак позитивно набијених катјона су негативног наелектрисања. Мембране које дозвољавају пролазак негативно наелектрисаних анјона су позитивног наелектрисања.



Слика 19- Шема електродијализе

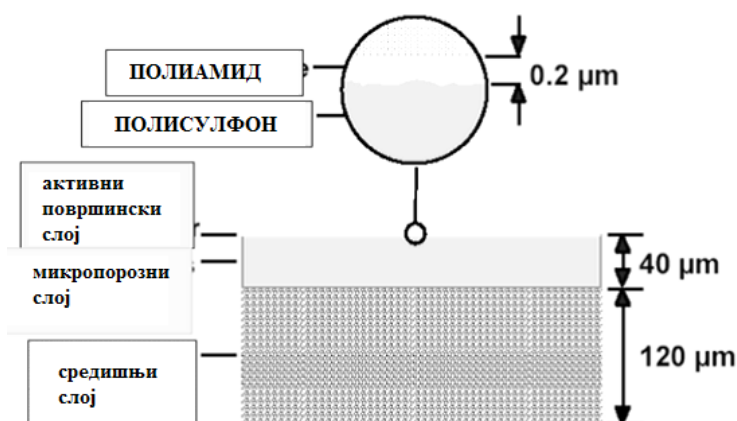
3.9 Подела мембрана

Подела према униформности структуре се може извршити на:

1. Анизотропне мембране

Пресек мембране је различите порозности, коју одликује танки активни горњи слој и подлога веће порозности. Анизотропне мембране деле се на:

- асиметричне (од једног материјала)
- састављене (композитне) (слика 20)



Слика 20 - Пресек композитне мембране

- #### 2. Изотропне (непорозне, микропорозне) мембране – имају једнаку порозност по целом пресеку.

Подела мембрана према хемијском саставу:

1. Органске (полимерне) – доминирају, практично може бити употребљен било који полимер: целулоза и њени деривати, ароматски полиамиди, полусулфон итд.
2. Неорганске - највећим делом керамичке. Примењују се за сепарацију органских материја које није могуће одвојити полимерним мембранама.

4. Мембрански модули

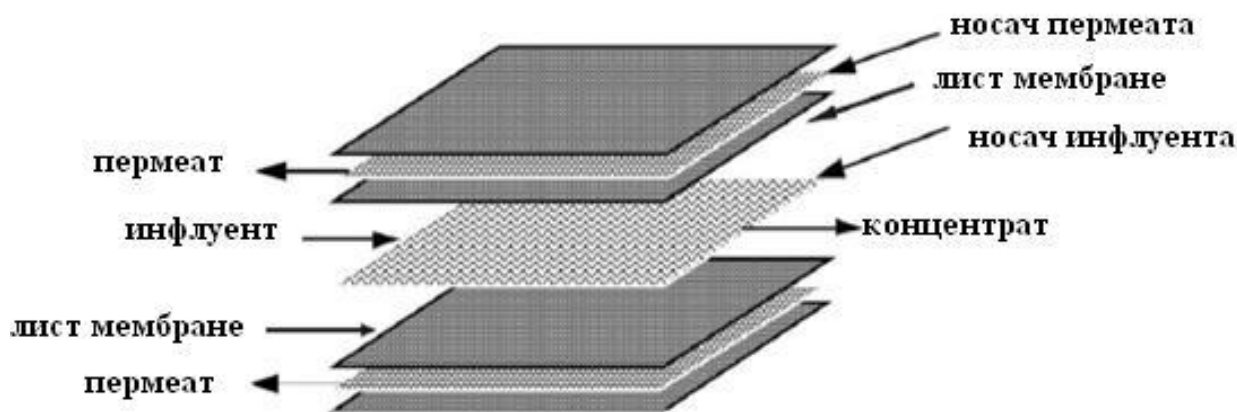
У зависности од области примене мембранског процеса и врсте медијума који се третира развијани су различити типови мембранских модула како би карактеристике примењеног мембранског процеса биле у потпуности искоришћене. Под појмом мембрански модул се подразумевају кућиште мембране и мембрана.

Постоји пет основних типова мембранских модула:

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

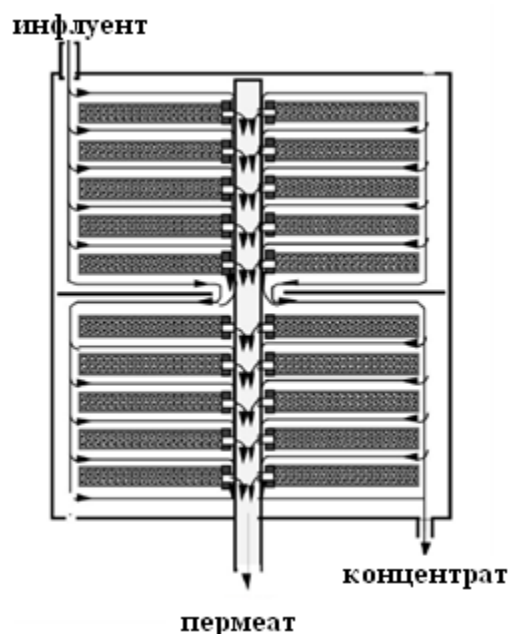
4.1 Плочасти мембрански модули

Плочасти модули су најранији типови мембранских система. Плочасти дизајн је предложио Стерн, приликом пројектовања првог постројења за издвајање хелијума из природног гаса. Између две граничне плоче су позиционирани лист мембране, носач инфлуента и носач пермеата (слика 21). Све ово се налази у кућишту као што је приказано на слици 22.



Слика 21 - Конструктивни слојеви плочасте мембране

Инфлуент под притиском улази у кућиште и долази у додир са мембранама. Пречишћена вода - пермеат се сакупља у централној цеви за одвођење пермеата, а отпадна вода - концентрат се посебним цевоводом односи се из система. Постављањем преграда унутар кућишта, између мембрана, се повећава контактна површина воде и мембрана. [7]



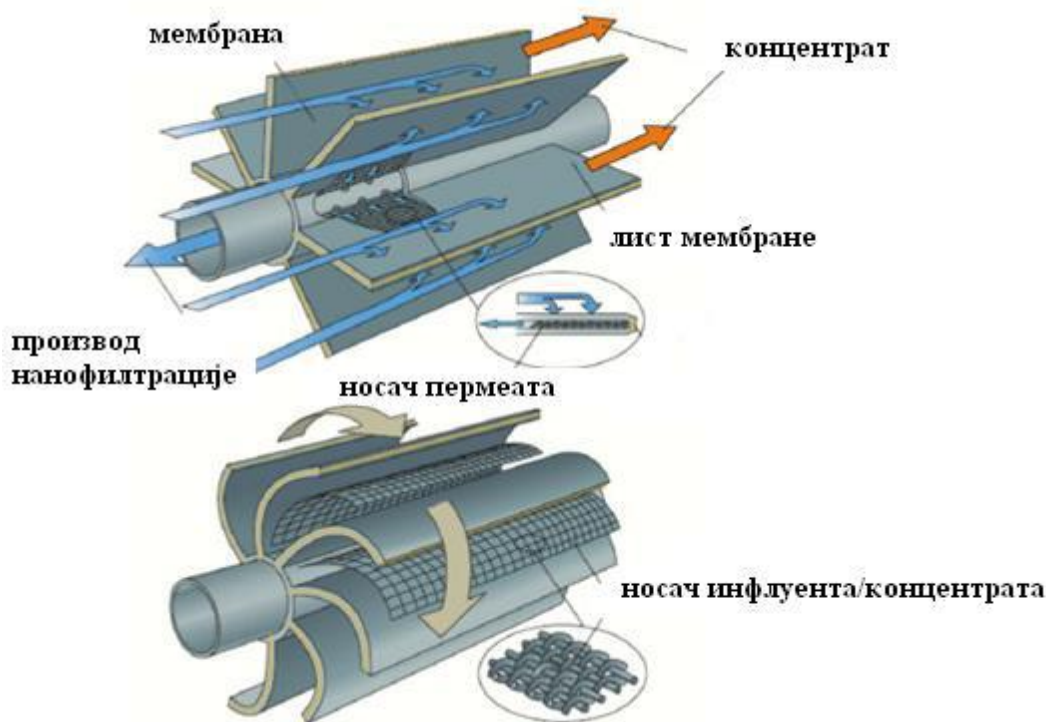
Слика 22 - Шематски приказ плочастог модула са једном преградом

Комерцијално су у употреби неколико типова плочастих модула. Код већине типова плочастих модула мембране се могу лако заменити, што чини овај тип модула погодним за непроточне системе. Плочасти тип модула није економски исплатив. Изузетак је уређај за електродијализу у облику снопа, плочасти модул који се састоји од јоноизмењивачких ањонских и катјонских мембрана које су позициониране наизменичним редоследом унутар кућишта.

Могу се користити у разноврсним индустријама употребом мембрана различитих селективних особина. Најчешћа примена плочастих модула је у фармацеутској и хемијској индустрији. Кућиште и остале компоненте плочастог модула који се користе у фармацеутској индустрији израђене су од нерђајућег челика како би се постигла успешна стерилизација. Користе се и у процесима раздвајања мешавине течности процесом делимичног испаравања и у одређеним процесима реверзне осмозе и ултрафилтрације инфлуента који садржи високу концентрацију супстанци које могу изазвати таложење наслага на мембранама. [7]

4.2 Спирално увијени мембрански модули

Спирално увијени мембрански модули представљају варијацију плочастих модула (слика 23). Спирално увијена мембрана је плочаста мембрана која је спирално увијена око централне перфориране цеви. Једна мембранска плоча се састоји од два мембранска листа који су постављени тако да су полеђине листова окренуте једна ка другој, а раздвојене су носачем пермеата. Слојеви плоче су залепљени дуж три ивице, а четврта, незалепљена страна је причвршћена на централну цев. Једна спирално увијена мембрана пречника 203,2 mm може садржати и до 20 плоча које су растављене пластичном мрежом, носачем инфлуента која служи за довод воденог раствора на листове мембране.



Слика 23 - Делови спирално увијеног мембранског елемента

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

Носач пермеата је мрежаста лист материјала који је позициониран између полеђина мембранских листова, а намењен је за сакупљање и одвођење пермеата до цеви за сакупљање пермеата. Носач пермеата се израђује од материјала који подносе високе притиске, обзиром на то да је ток концентрата под притиском који износи око 90% улазног притиска инфлуента. За производњу носача пермеата се за ниске радне притиске користи полиетарски уплетени материјал.

Спирално увијени мембрански модули функционишу по принципу тангенцијале филтрације. Код процеса тангенцијалне филтрације (слика 24) инфлуент улази паралелно са централном цеви у канале носача инфлуента постављене на крају спирално увијеног елемента. Улазна вода протиче кроз носаче, а већа запремина воде се пропушта кроз слојеве мембране и одводи до носача пермеата.

Пермеат се у носачу креће спиралном путањом око мембранског елемента до централне цеви. Растворене супстанце у преосталој мањој запремини воде које не могу да прођу кроз поре полупропусне мембране, протичу преко површине мембране. Концентрат садржи велику количину растворених материја и излази из мембранског елемента паралелно са централном цеви на супротној страни од уласка инфлуента у мембрану. [8]



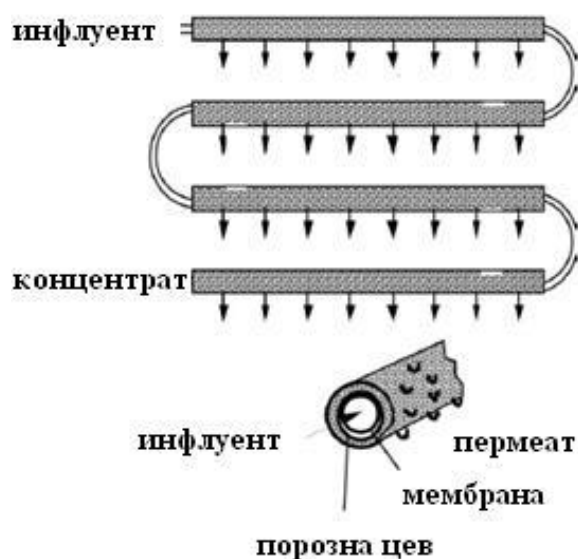
Слика 24 - Спирално увијене мембране

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

4.3 Тубуларни мембрански модули

Тубуларне мембране се састоје од снопа цевчица пречника 5 – 15 mm чији унутрашњи слој има селективне особине. Спољна страна цевчице је сачињена од порозног материјала. У кућиште се обично поставља 10 до 30 засебних цевчица. Инфлуент се под притиском доводи у мембранске цевчице, а пермеат се сакупља унутар кућишта (слика 25).

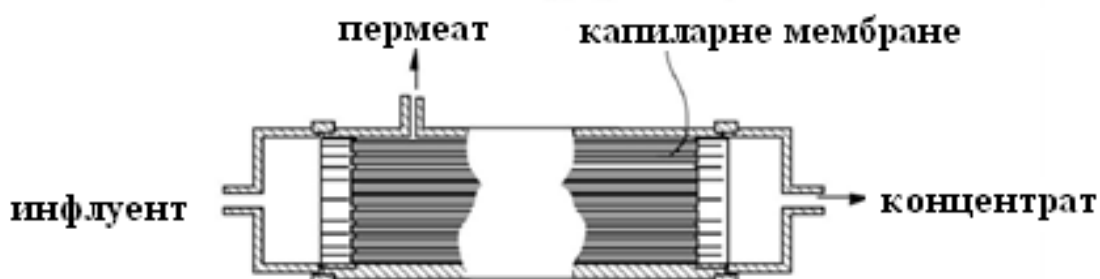
Тубуларне мембране се користе за процесе на ниском притиску, око 4 bar. Због великог пречника цевчица, тешко се зачепљују. Недостатак тубуларних мембрана су мала мембранска површина по јединици запремине и високи трошкови. Погодне су за филтрацију инфлуента који садржи високу концентрацију растворених материја и велику вискозност. Тубуларне мембране су се раније користиле као предтретман у процесу реверсне осмозе морске воде и за третман отпадне индустријске воде. У скорије време се користе за раздвајање мешавине течности процесом делимичног испаравања кроз мембрану и ултрафилтрацију отпадних вода. [9]



Слика 25 - Шематски приказ процеса филтрације тубуларне мембране

4.4 Капиларни мембрански модули

Капиларни мембрански модули се састоје од великог броја мембранских капила са унутрашњим пречником од 0,5 – 5 mm поређаних у снопу и позиционираних у спољну цев, као што је приказано на слици 26. Инфлуент улази у капиларе, пермеат се сакупља у спољашњој цеви, а концентрат излази из система супротно од улаза инфлуента.



Слика 26 - Шематски приказ капиларног мембранског модула

Код капиларног мембранског модула најбоље је користити мембране које имају асиметричну структуру и селективни слој на унутрашњој страни капилара. Капиларни мембрански модули имају велику површину по јединици запремине.

Трошкови производње су ниски, а таложење наслага на мембранама се може контролисати подешавањем одговарајућег улазног протока и противструјним прањем пермеатом у одређеним временским интервалима. Оптималан радни притисак капиларних мембрана је од 4 – 6 bar. Капиларне мембране користе се у процесима дијализе, микрофилтрације и ултрафилтрације на ниском притиску.

4.5 Мембрански модули са шупљим влакнима

Мембрански модули са шупљим влакнима се састоје од дугих и уских цевчица које могу бити произведене од готово свих мембранских материјала. Уобичајени начин повезивања шупљих влакана је уздужно повезивање. На овако повезана влакна се на оба краја поставља епокси смола, а потом се влакна смештају у кућиште које представља саставни део модула са шупљим влакнима. Ови модули се обично постављају вертикално, мада могу бити постављени и хоризонтално, у зависности од потребе.

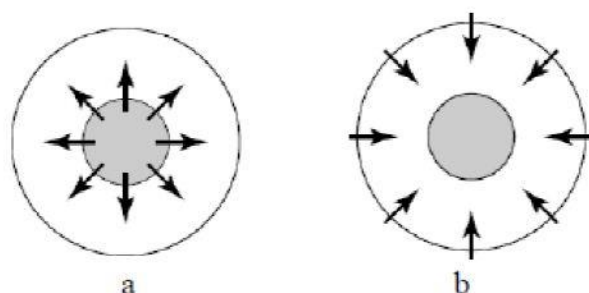
У другој конфигурацији модула са шупљим влакнима влакна су одвојена од кућишта и инсталирају се посебно. Ова конфигурација се инсталира хоризонтално. У трећој конфигурацији се шупља влакна вертикално потапају у базен, где не постоји кућиште, већ када у коју се постављају влакна. Типични комерцијални модули са шупљим влакнима се могу састојати и од више од 10.000 влакана. Радни притисак модула са шупљим влакнима може бити и до 100 bar. Иако димензије влакана варирају у зависности од произвођача, неки стандардни параметри шупљих влакана су:

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

Модули са шупљим влакнима могу радити по принципу:

- унутра - споља
- споља - унутра

Код унутра - споља режима (слика 27 а) инфлуент улази у средиште влакна и филтрира се радијално кроз зид влакна, а пермеат се сакупља са спољашње стране зида. Код споља - унутра режима (слика 27 б) инфлуент улази у влакно са спољашње стране зида, а пермеат се сакупља у средини влакна. Проток воде у унутра - споља режиму је константан што је погодно ако систем ради под тангенцијалним хидрауличким режимом, али је тада могућност запушења унутрашњости влакана већа. Код споља - унутра режима могућност запушења влакана је знатно мања. [9]



Слика 27 - Шематски приказ смера протока флуида кроз зидове шупљих влакана

4.7 Проблеми који настају при мембранским процесима

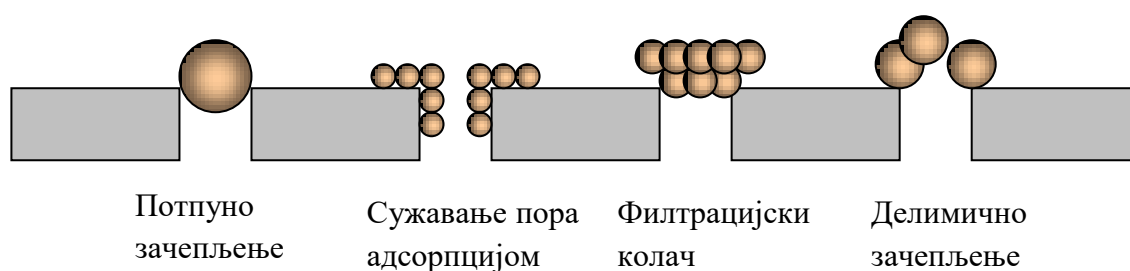
При свом раду мембране подлежу зачепљивању, што се дешава у зависности од квалитета улазне воде. Ниједна мембрана није поштеђена зачепљивања али неке могу без чишћења да раде много година, док се код других чишћење спроводи седмично или чак дневно. Будући да код неких мембранских процеса зачепљивање мембрана доводи у питање саму употребу и исплативост технологије, зачепљивању треба посветити посебну пажњу.

Под појмом зачепљивања подразумева се спонтано повећање притиска при филтрацији или смањење флукса пермеата. До зачепљивања може доћи због више разлога, од којих су најважнији:

- адсорпција органских макромолекула и колоида,
- раст микроорганизама по површини мембране,
- таложење аноrganских молекула,
- старење мембране (мењање структуре, полимеризација).

Који механизам ће бити највише изражен, зависи од типа мембране и састава улазне воде.

Укупни отпор филтрацији дели се на отпор који пружа сама мембрана, отпор накупљених ствари на површини мембране и отпор због поларизације концентрације. Отпор мембране је константан и зависи од карактеристика мембране. У идеалном случају само отпор мембране би представљао укупни отпор филтрацији. На несрећу, филтрирана ствар ствара додатни отпор због накупљања честица на мембрани, који зависи од механизма филтрације и карактеристикама филтриране ствари, а може се приказати као на слици 28.



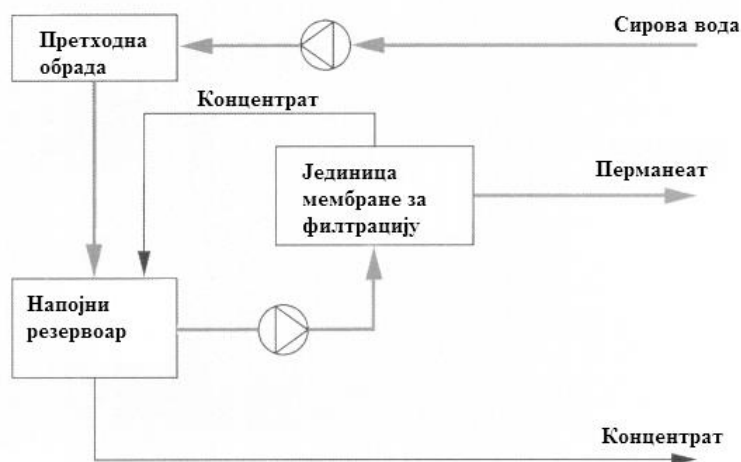
Слика 28 - Механизми зачепљивања мембране

Технички проблеми мембранске филтрације углавном се односе на оштећења мембране и потешкоће око достизања нивоа концентрације код филтрације реверсном осмозом. Један од проблема је висок осмотски притисак третиране воде. Када се мембране запрљају процес филтрације се мора зауставити да би се мембране очистиле. То се обично изводи аутоматски на одређени интервал или контролом протока филтрата. Мембране за микрофилтрацију са релативно великим отворима пора су више

осетљиве, више се запушавају него мембране које се користе код ултрафилтрације мада се може обезбедити повратно испирање мембрана. Повратно испирање изискује повратни проток кроз мембран - филтер у одређеним интервалима како би се поре мембране очистиле, повратно испирање не замењује прање мембрана. Капацитет филтера се ефективно смањује јер се одређени део воде или пермеата користи за повратно испирање.

Мембране се смештају у модуле и могу бити конструисане на различите начине, најчешће су цевасте, спиралне, плочасте, рамске и “шупље влакнасте” мембране. Последње се састоје од бројних танких цеви смештених у модулу. Генерално, већа површина која се може добити по модулу смањује цену мембрана, у исто време подложност оштећењима од стране честица се повећава.

Одређени тип мембрана може бити осетљив на екстремне услове рН, а посебно у комбинацији са високом температуром. У последње време се све више користе керамичке мембране због њихове отпорности према високој температури у комбинацији са високим / ниским рН код микрофилтрације и ултрафилтрације. Мембране са високом хемијском отпорношћу су актуелне код нанофилтрације и реверсне осмозе. Уља и релативно крупније честице морају претходно бити уклоњене да би се смањио ризик од оштећења и уништавања мембрана. Слика 29 приказује принцип рада који се захтева за погон обраде уз употребу мембрана. [10]



Слика 29 – Принцип рада мембранских процеса

4.8 Контрола квалитета воде

Квалитет воде у сложеном систему за пречишћавање воде мора се пратити комплетном анализом контролних и дијагностичких параметара од улаза преко појединих фаза пречишћавања до крајњег продукта пречишћене воде. Параметри квалитета воде се морају одржавати у стандардним пројектованим границама. Контролни параметри дају информацију о тренутном стању квалитета воде у свим компонентама система. Ови параметри се морају мерити континуирано помоћу ”он лине” уграђених сензора, мерача или анализатора.

5. Хемијска припрема воде

Технологије попут омекшавања воде, реверзне осмозе, деминерализације воде, филтрације воде, дозирања антискаланта и третмана воде полифосфатима, деманганизације и деферизације као и стерилизације воде хлорисањем, односно низ других технологија за третман воде обједињујемо заједничким називом хемијска припрема воде.

Често се за третман вода конфигуришу ХПВ линије које су наменски дизајниране за отклањање комплексних загађења и кондиционирање воде у складу са захтевом.

Како би реверсна осмоза исправно функционисала неопходно је да постоји предтретман воде коју прерађује. Једна од јединица из предтретмана је дозирање хемикалија. У склопу редовног одржавања реверсне осмозе улази хемијско чишћење. Линија хемикалија за хемијско чишћење формулисана је тако да је ефикасна на свим типовима мембрана. Ово су савремена средства далеко ефикаснија од традиционално коришћених раствора направљених од киселина и база.

Дозирају се хемикалије следећег типа:

Антискаланти - Узани канали у спиралним или тубуларним мембранама веома се брзо и лако прљају па се користе средства за спречавање таложења каменца и других минералних талоба независно од порекла сирове воде. Ефективно контролише талог каменца укључујући калцијум карбонат, калцијум сулфат, баријум сулфат, стронцијум сулфат, калцијум флуорид, гвожђе, колоидне честице и друге органске загађиваче.

Биоциди - Неоксидирајући биоциди су високо ефикасни у смањивању раста бактерија и слузи на различитим врстама мембрана. Користе се против акумулације слузи на површинама РО и УФ мембрана. Високо ефикасни биоцид такође контролише раст гљива и алги кад се користи у већим дозама.

Хемикалије за везивање хлора - Напојна вода у РО мембрани често има слободан хлор који неповратно оштећује мембране. Он дотиче из градске водоводне мреже или из предтретмана процесом хлорисања.

Хемикалије за корекцију рН вредност – Најчешће се користи NaOH (натријум хидроксид) који има улогу у штеловању рН вредности. Његовим додавањем повећава се рН вредност. Процес додавања NaOH врши се након проласка воде кроз РО мембрану.

6. Постројење за третман слане воде у циљу добијања пијаће воде

У сарадњи са компанијом Milanović inženjering која се бави машинском производњом, третманом вода, инжењерингом, логистиком и монтажом урађен је пројекат постројења за третман слане воде за добијање пијаће воде у Кувајту.

Кувајт је мала арапска држава чија истоимена престоница, преко јужног улаза у Кувајтски залив, излази на Персијски залив. Остатак државне територије чини мала, таласаста пустиња између Ирака и Саудијске Арабије, као и девет малих острва у Персијском мору (слика 30).



Слика 30 - Кувајт

У Кувајту не постоје сталне слатке површинске воде. Оне настају акумулирањем кишнице у природним депресијама где вода остаје по неколико недеља. Само мали део ове воде доспе у унутрашњост земље због великог испаравања и присуства непрпусног слоја у неким регионима.

Постоје три класе подземних вода:

- свеже воде чији је салинитет нешто испод 1.000 mg/l која се користи за пиће и домаће потребе,
- слана вода чији је салинитет у распону између 1.000 и 10.000 mg/l која се користи за наводњавање,
- веома слана вода са салинитетом који прелази 10.000 mg/l која се користи само у посебним случајевима.

Због недостатка пијаће воде Кувајт се ослања на десалинизацију воде као примарног извора свеже воде за пиће и потребе домаћинства. Прва фабрика за десалинизацију основана је 1953. године са укупним капацитетом од 4.545 m³/dan. До 1994. основано је 6 постројења за десалинизацију са максималним капацитетом од 950.000 m³/dan. Количина десалинизоване произведене воде у 1993. био је 231 милиона m³. Свежа вода добијала се мешањем дестиловане воде са подземном водом ниског салинитета како би се добила вода за пиће у складу са званичним стандардима (слика 31). [11]



Слика 31 – Фабрике за десалинизацију у Кувајту

6.1 Технички опис постројења

Постројење за третман воде, ознаке BW-UR-010, пројектовано је за пречишћавање слане воде чији салинитет иде до 12.000 mg/l претварајући га у питку воду. Процес третмана је тако дизајниран да задовољи највише стандарде са најсавременијом технологијом у области третмана слане воде [12].

Процес има шест фаза третмана:

1. Груба филтрација са улазним резервоаром,
2. Ултрафилтрација,
3. Дозирање антискаланта,
4. Реверзна осмоза,
5. Корекција рН вредности и
6. Дезинфекција (хлорисање).

Сва опрема је монтирана на носећу конструкцију. Такође, систем има централну јединицу за чишћење система са хемикалијама које се дозирају по потреби (CIP). Систем за чишћење је конструисан тако да се може користити и за чишћење мембрана код ултрафилтрације и РО модула.

Предност ултрафилтрације као предтретмана за реверзну осмозу је:

- Одличан степен филтрације,
- Висока хемијска отпорност и толеранција на високе температуре при процесу чишћења мембрана,
- Мали номинални пречник пора,
- Висока ефикасност уклањања бактерија и вируса без додавања хемикалија,
- Немогућност цурења система,
- Систем има процес повратног прања (back-wash), као и удувавање ваздуха за отклањање нечистоћа како би се побољшале перформансе и обезбедио дужи радни век,
- Једноставно, вертикални, модуларни дизајн омогућава ниску цену и лако уградњу,
- За разлику од реверзне осмозе током радног века систем не захтева стални ремонт или замену компонената.

Носећа конструкција

Сва опрема, укључујући филтер за ултрафилтрацију, РО модуле, резервоаре, систем за прање, вентиле, пумпе, компресор и цеви се монтирају на конструкцију од нерђајућег челика. Материјал конструкције је SS 304L, док су његове димензије 5.000x2.200x2.200 mm.

Груба филтрација са првим резервоаром

Пре ултрафилтрације и реверзне осмозе вода прво пролази кроз груби, мрежаста филтерски систем који се састоји од два филтера, оба филтера имају површину филтрације (мрежица) од 160 cm². Мрежица кроз коју се пропушта вода има отворе реда величине 130 µm чиме се уклањају најгрубље нечистоће из воде. На слици 32 приказани су елементи грубог филтера, док је на слици 33 приказани груби филтери уграђени у систем.



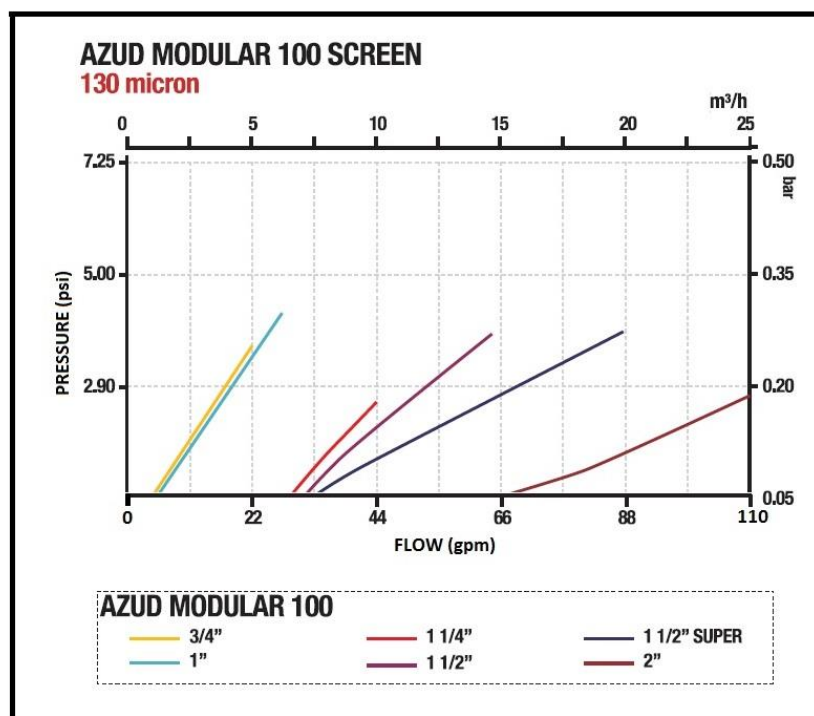
Слика 32 – Елементи филтера AZUD (1- прикључак за мерење притиска, 2 – прикључак на систем, 3 – кућиште филтера, 4 – модуларни филтер, 5 – површина за филтрацију, 6 - помоћни прикључак)

- Број филтера: 2, један је у раду док је други у стању приправности
- Врста филтера: мрежица са отворима величине 130 µm
- Проток кроз сваки филтер: 6 m³/h
- Повезивање: 1 "BSP
- Материјал: пластика
- Материјал мрежице: SS 316L



Слика 33 – Уграђени груби филтери у систем

Губитак притиска приказан је на дијаграму 1.



Дијаграм 1 - Пад притиска у односу на проток за све моделе грубих филтера AZUD

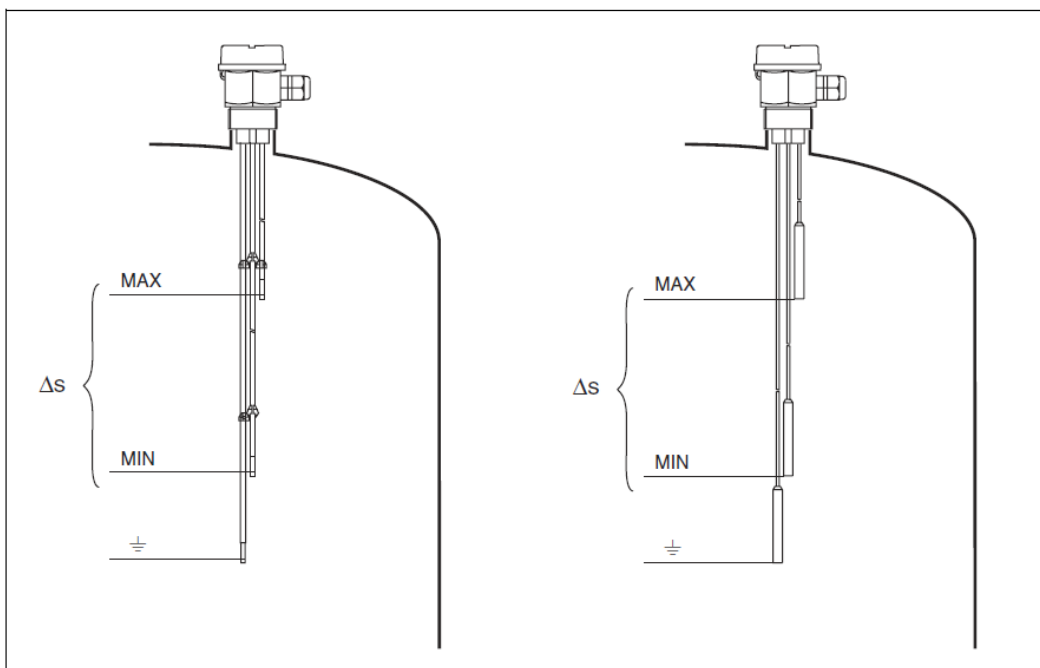
Предности коришћења овог филтера су:

- Висока површина филтрације,
- Лако руковање и одржавање,
- Мали губици,
- Једноставна инсталација,
- Поседовање манометарског прикључака како би се избегли високи кварови.

Први (улазни) резервоар

Након грубе филтрације поставља се улазни резервоар како би се обезбедила аутономија комплетног система. Захваљујући резервоару пумпа има мање радно коло. Резервоар поседује систем за контролу нивоа воде (Level switch) чиме се спречава плављење резервоара, а уједно, ако је он празан, да искључи пумпу и спречи евентуални квар. Такође, резервоар има преливни и дренажни систем, као и филтрирање ваздуха да би се спречио долазак било какве честице у резервоар.

Систем за контролу нивоа воде (Level switch) ради по принципу мерења проводљивости између две или три електроде у зависности од нивоа воде, где се на основу разлике проводљивости дефинише ниво воде у резервоару. На слици 34 је дат пример рада система за контролу нивоа воде.



Слика 34 – Принцип рада система за контролу нивоа воде

- Тип резервоара: правоугаоног облика, затворен
- Димензије: 1000 x 1000 x 1500mm
- Прикључак : 1 "BSP
- Материјал: полипропилен

Конкретан пример система за контролу нивоа воде дат је на слици 35.

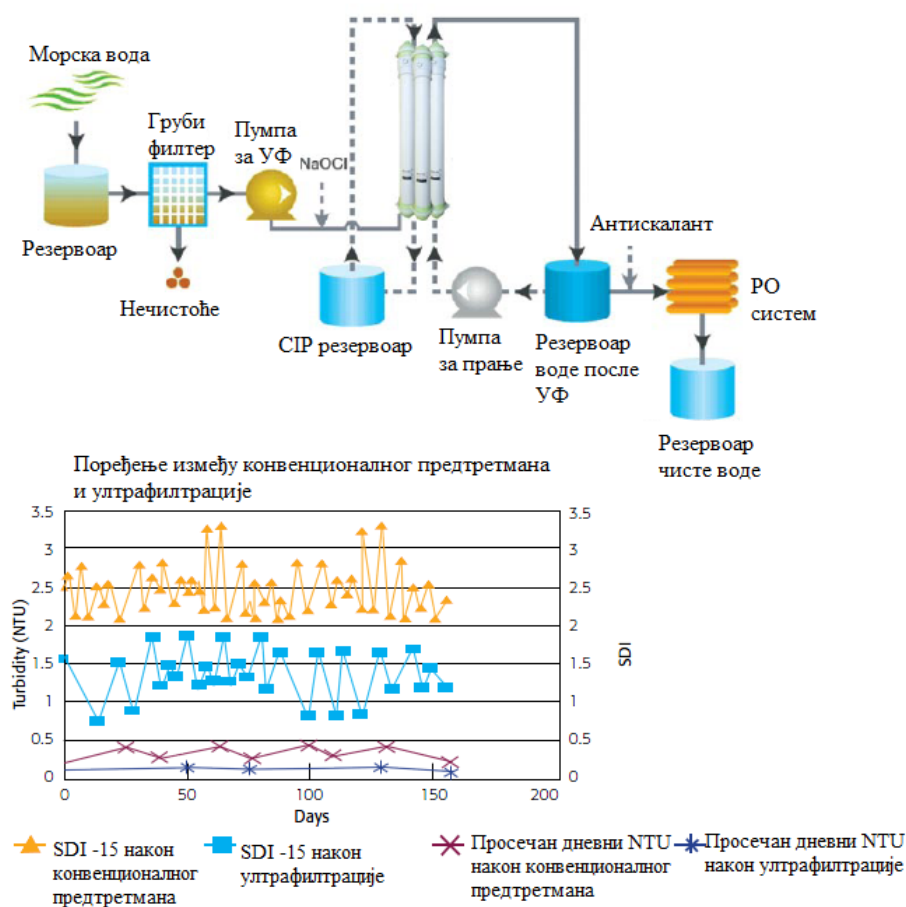


Слика 35 - Level switch FTW 31

Ультрафилтрација

Ультрафилтрација је један од најнапреднијих процеса за пречишћавање воде који обезбеђује одличан квалитет воде за улазак у РО модул, без додавања хемикалија. На слици 36 је приказано поређење квалитета воде добијене након конвенционалног поступка пречишћавања воде као предтретмана и ултрафилтрације.

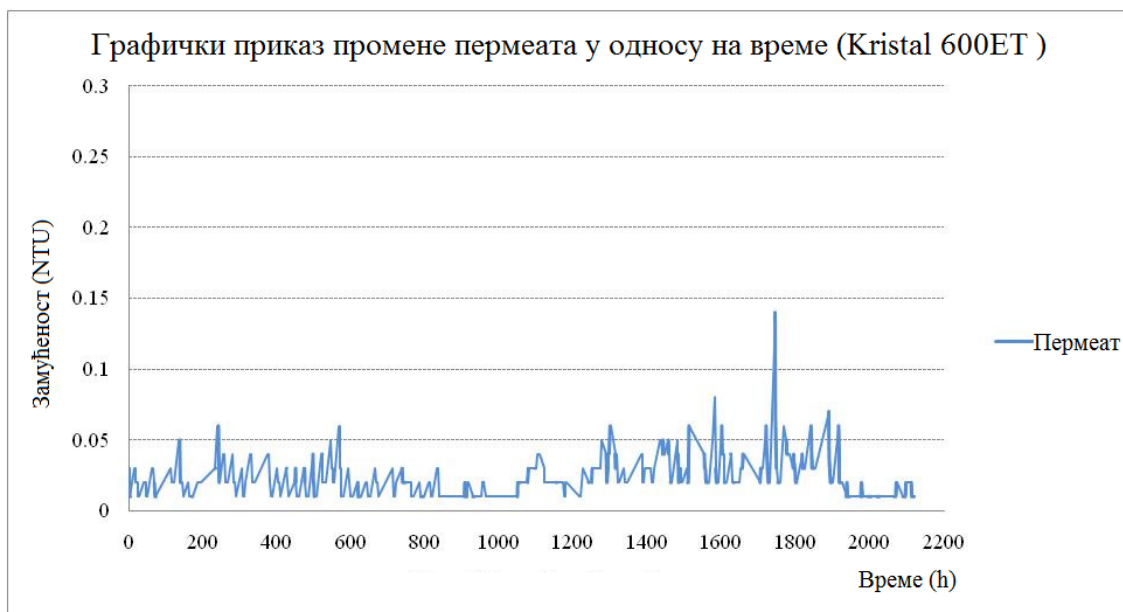
Ультрафилтрација је мембрански процес који се користи за отклањање честице веће молекулске масе, вируса и бактерија, као и мање замућености. Квалитет пермеата се не мења у зависности од квалитета долазеће воде. Поготово када замућеност воде достигне високе вредности, степен ултрафилтрације остаје константан, при чему се добија пермеат високог квалитета.



Слика 36 – Квалитет воде након конвенционалног предтретмана и УФ

Перформансе УФ Kristal 600ЕТ који се користи у овом систему су:

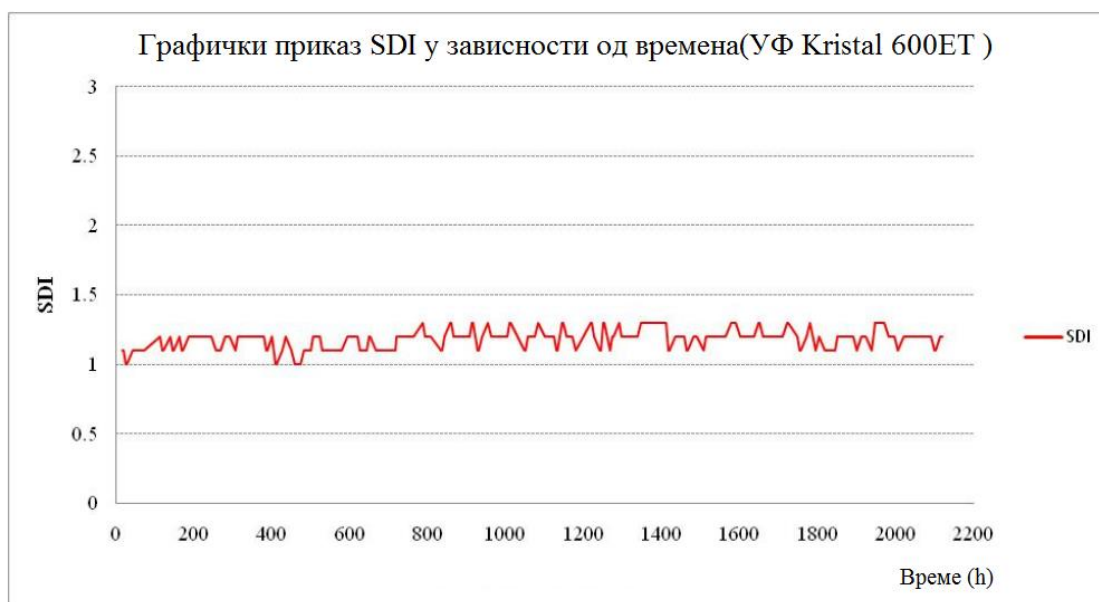
- Смањење замућености (зависност замућености пермеата у односу на време приказан је на дијаграму 2)



Дијаграм 2 – Зависност замућености пермеата у односу на време

- Смањење SDI (Silt Density Index)

Честице и колоидне супстанце могу се потпуно уклонити помоћу Kristal модула, док одбацивање раствореног органског дела зависи од молекулске тежине. У зависности од квалитета сирове воде, SDI пермеата износи од 1 до 2, без додавања коагуланта (дијаграм 3).



Дијаграм 3 – Зависност СДИ-а у односу на време

Kristal 600ET

Модул Kristal 600ET је инсталиран за процес ултрафилтрације. Уграђени модул у систем приказан је на слици 37. Његова спецификација је [13]:

- Структура: асиметрично
- Базни материјал: измењен полиетерсулфоне
- Произвођач: Hifluk
- Молекуларна тежина : 120.000 далтона
- Димензије: 216x850 mm
- Површина мембране: 23 m²
- Проток чисте воде: 200 l/h
- Материјал кућишта: ПВЦ
- Повезивање: 1,5 NPT
- Тип протока: од споља ка унутра
- Максимални притисак: 2,5 bar



Слика 37 - Модул Kristal Torch 600ET

Пумпа за ултрафилтрацију

Снабдевање УФ модула водом врши се једном пумпом која је опремљена свим потребним вентилима и заштићена од рада на суво. Пумпа је фреквентно регулисана како би се обезбедило одржавање сталног протока воде (слика 38).

Технички подаци пумпе су:

- Број пумпи: 1
- Тип пумпе: центрифугална пумпа
- Произвођач: Calpeda, Италија
- Проток: 2 m³/h
- Притисак: 2,5 bar
- Напајање: 400 W, 50 Hz
- Заштита/изолације: IP 55
- Материјали:
 - Кућиште пумпе SS 316L
 - Ротор SS 316L
 - Вратило SS 316L



Слика 38 – Пумпа за ултрафилтрацију

Пумпа за прање УФ модула

Чишћење УФ модула се врши једном пумпом (слика 39). Пумпа је опремљена свим потребним вентилима и заштитним системом од рада на суво. Пумпа је фреквентно регулисана како би се обезбедило одржавање сталног протока воде [14].

Технички подаци пумпе су:

- Број пумпи: 1
- Тип пумпе: центрифугална пумпа
- Произвођач: Calpeda, Италија
- Проток: 2,76 m³/h
- Притисак: 1,5 bar
- Напајање: 400 W, 50 Hz
- Заштита/изолације: IP 55
- Материјали:
 - Кућиште пумпе SS 316L
 - Ротор SS 316L
 - Вратило SS 316L



Слика 39 - Пумпа за прање УФ модула

УФ резервоар

Систем поседује УФ резервоар да би се обезбедила потребна вода за прање УФ модула. Резервоар је опремљен системом за контролу нивоа воде. Такође, резервоар има преливни и дренажни систем, као и филтрирање ваздуха да би се спречио долазак било какве честице у резервоар.

- Тип резервоара: правоугаоног облика, затворен
- Димензије: 1000 x 1000 x 1500mm
- Прикључак : 1 "BSP
- Материјал: полипропилен

Дозирање антискаланта

Систем поседује јединицу за дозирање антискаланта да би се спречило таложeње нечистоћа у РО модулу. Комплетан систем дозирања са резервоаром је постављен на носећу конструкцију (слика 40). За овакав систем потребна су два резервоара, због потребне количине антискаланта. Сваки резервоар поседује своју пумпу за дозирање антискаланта.



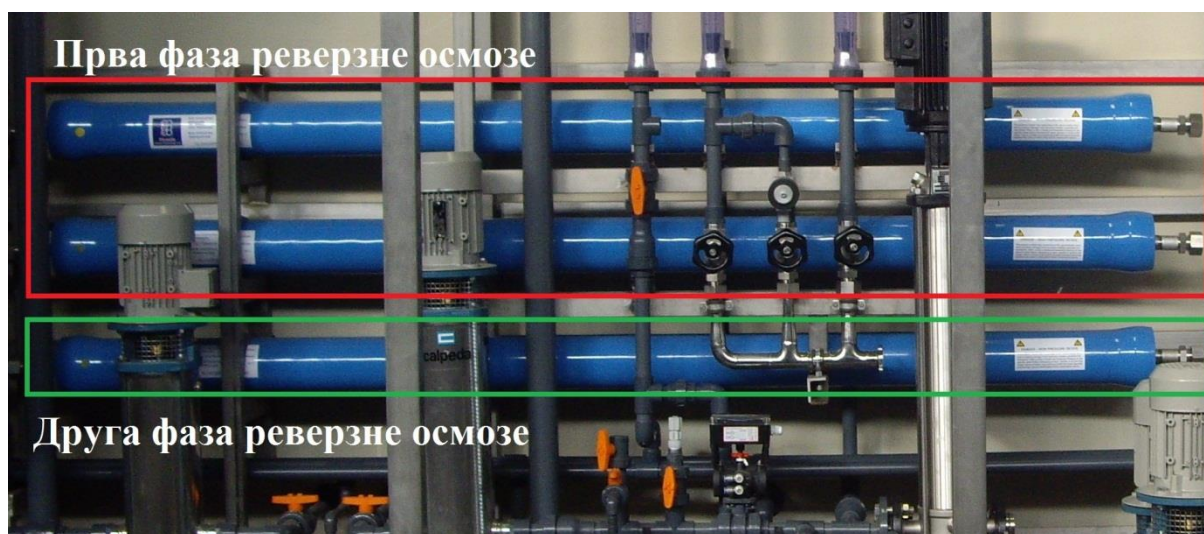
Слика 40 – Резервоари за антискалант

Реверзна осмоза

РО филтрација је тренутно најефикаснији начин филтрације сирове воде. РО мембрана делује као баријера за растворене соли и неорганске материје, као и молекуле са молекулском масом преко 100 (концентрат). Чиста вода (пермеат) пролази слободно кроз мембрану. Степен пречишћавања је обично 95% -99%.

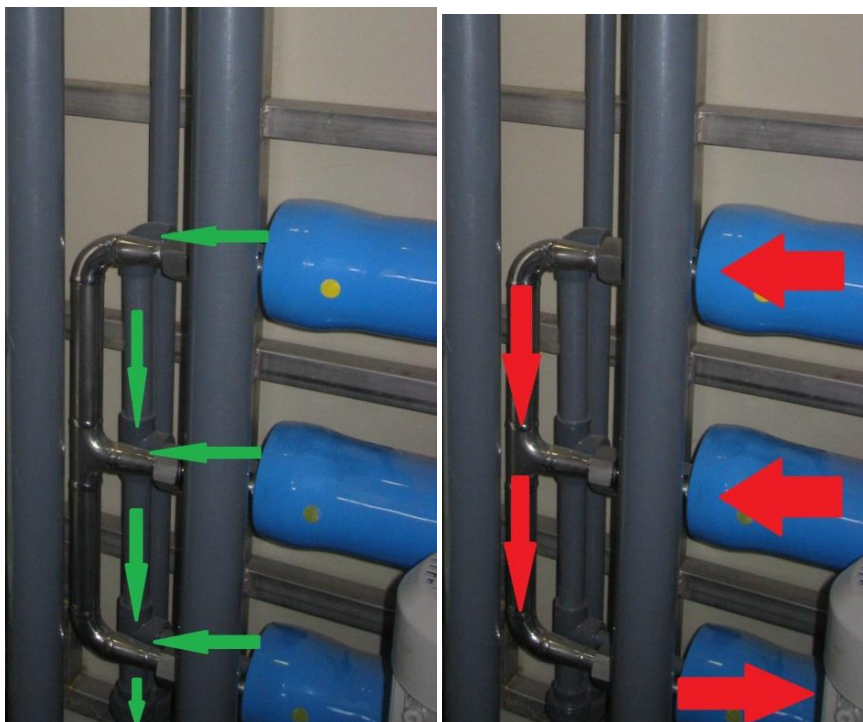
Због веома високог салинитета (ТДС износи 11.700) и врло високе концентрације SO_4 , РО систем је пројектован тако да се састоји из две битне фазе (слика 41).

Код прве фазе делимично пречишћена вода, након ултрафилтрације, пролази паралелно кроз два РО модула а затим концентрат настао у првој фази пролази кроз још један РО модул, што чини другу фазу, како би се добио већи степен искоришћења.



Слика 41 – Фазе процеса реверзне осмозе

Пречишћена вода (пермеат), након реверзне осмозе, пролази ПВЦ цевима, док концентрат, због потребног високог притиска, мора да пролази кроз прохромске цеви. На слици 42 црвеном стрелицом је приказан смер концентрата, док је зеленом стрелицом приказан смер пермеата. Након реверзне осмозе пермеат одлази у резервоар, а концентрат се избацује помоћу дренажног система.



Слика 42 – Смер пермеата (зелена) и концентрата (црвена)

Процес има следеће карактеристике:

- Флексибилност при пуњењу система
- Након сваке серије чишћења степен искоришћења може бити максималан
- Чишћење се лако имплементира
- Потпуно аутоматска контрола
- Квалитет пермеата се може контролисати током читавог процеса
- Мембране није потребно често мењати јер су само у контакту са концентратом кратко време
- Проширење је прилично лако.

Изабрани тип мембрана је FILMTEC BW30-4040 са степеном искоришћења од 55%. Карактеристике мембране су:

- Проток сирове воде кроз прву фазу: 1-2,32 m³/h
- Проток сирове воде кроз систем: 1,82 m³/h
- Радни притисак: 22,41 bar
- Укупна површина мембранских филтера: 43,48 m²
- Проток пермеата кроз прву фазу: 1,00 m³/h
- Радна температура: 25 °C

FILMTEC™ мембране поседују перформансе система које одговарају индустријској примени. FILMTEC BW30-4040 спада у индустријски стандард за поуздани рад и производњу пијаће воде највишег квалитета, а дизајнирани су и да издрже високе притиске. Спецификације мембране FILMTEC BW30-4040 дате су у табели 5. [15]

Табела 5 - Спецификације мембране FILMTEC BW30-4040

Тип мембране	Произвођачки број	Активна површина m ²	Проток пермеата m ³ /d	Процентуално уклоњена со (%)
BW30-4040	80783	7,2	9,1	99,5

Детаљне карактеристике обе фазе процеса дате су у табели 6, док су у табели 7 приказани елементи који се отклањају, као и њихове количине.

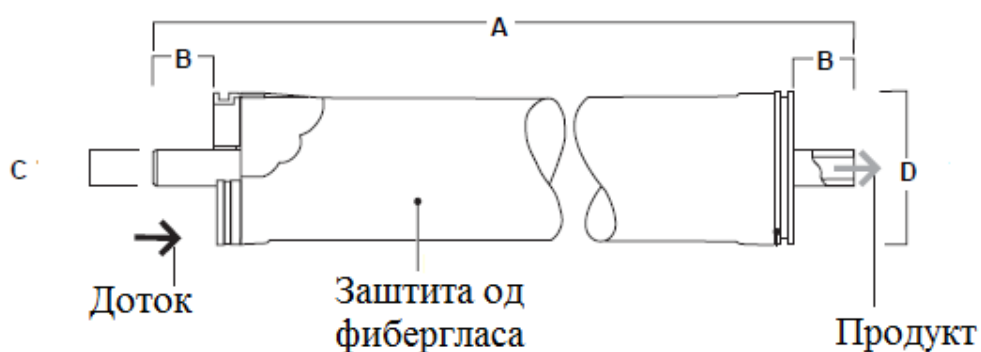
Табела 6 - Карактеристике обе фазе процеса

Фаза	Тип мембране	Број мембрана по фази	Број модула по фази	Проток m ³ /h	Притисак bar	Проток концентрата m ³ /h	Проток пермеата m ³ /h
1	BW30-4040	4	2	2,32	22,06	1,57	21,94
2	BW30-4040	2	1	1,57	21,59	1,32	21,36

Табела 7 - Елементи који се уклањају из процеса

Елементи који се уклањају из процеса (mg/l)								
Назив	Доток	Прилагођени доток		Концентрат		Пермеат		
		Почетно	После рециклаже	Фаза 1	Фаза 2	Фаза 1	Фаза 2	Укупно
NH ₄	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K	52,00	52,00	65,44	96,02	114,31	0,87	1,54	1,04
Na	3.095,00	3.097,28	3.898,88	5.722,08	6.813,22	48,89	84,48	57,97
Mg	195,00	195,00	246,06	362,02	431,72	1,17	1,91	1,36
Ca	740,00	740,00	933,79	1.373,96	1.638,51	4,30	7,10	5,01
Sr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CO ₃	2,85	2,85	4,55	9,02	12,27	0,00	0,00	0,00
HCO ₃	175,00	175,00	218,20	315,25	372,12	3,41	5,65	3,98
NO ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	4.229,00	4.229,00	5.322,95	7.811,26	9.300,08	68,47	118,98	81,35
F	2,00	2,00	2,52	3,69	4,39	0,04	0,07	0,05
SO ₄	3200,00	3200,00	4036,79	5937,73	7079,77	22,64	37,13	26,34
SiO ₂	10,00	10,00	12,61	18,54	22,11	0,08	0,14	0,10
Boron	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CO ₂	3,19	3,19	3,63	5,22	6,30	3,82	5,27	4,19
TDS	11.700,86	11.703,14	14.741,80	21.649,57	25.788,50	149,88	256,99	177,20
pH	7,60	7,60	7,61	7,56	7,52	6,11	6,17	6,13

Димензије једног модула приказане су на слици 43 и у табели 8.



Слика 43 – Димензије мембране

Табела 8 - Димензије мембране

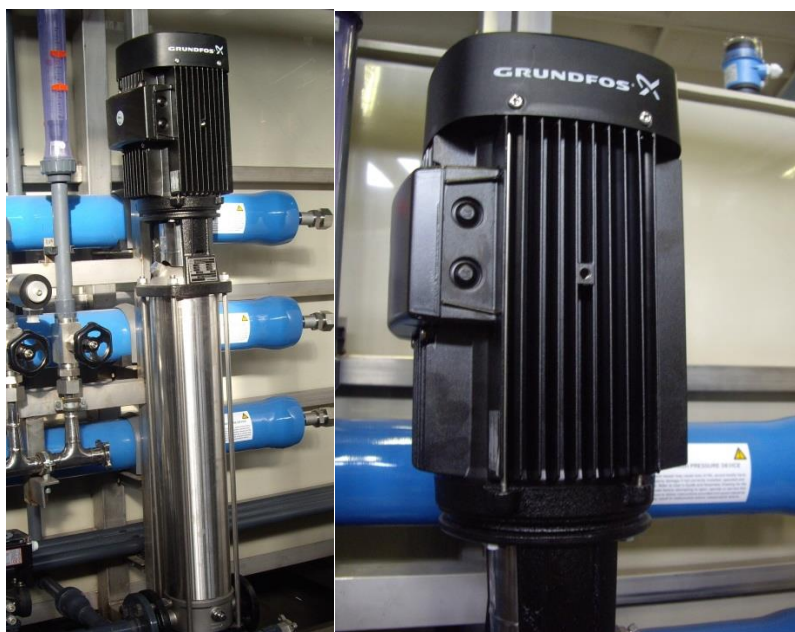
Тип мембране	A mm	B mm	C mm	D mm
BW30-4040	3016	26,7	19	99

Високо притисна пумпа за реверзну осмозу

Покретање реверзне осмозе врши се помоћу високо притисне пумпе (слика 44). Пумпа је опремљена свим потребним вентилима и заштитним системом од рада на суво. Пумпа је фреквентно регулисана како би се обезбедило одржавање сталног протока воде. [16]

Технички подаци пумпе:

- Број пумпи: 1
- Тип пумпе: центрифугална пумпа
- Произвођач: Grundfos, Немачка
- Проток: 2,32 m³/h
- Притисак: 2,5 bar
- Напајање: 400 V, 50 Hz
- Заштита /изолација: IP 55
- Материјали:
 - Кућиште пумпе SS 316L
 - Ротор SS 316L
 - Вратило SS 316L



Слика 44 – Високо притисна пумпа Grundfos

Пумпа за РО модуле

Покретање РО модула врши се помоћу високо притисне пумпе (слика 45). Пумпа је опремљена свим потребним вентилима и заштитним системом од рада на суво. Пумпа је фреквентно регулисана како би се обезбедило одржавање сталног протока воде.

Технички подаци пумпе:

- Број пумпи: 1
- Тип пумпе: центрифугална пумпа
- Произвођач: Calpeda, Италија
- Проток: 2,32 m³/h
- Притисак: 2,5 bar
- Напајање: 400 V, 50 Hz
- Заштита /изолација: IP 55
- Материјали:
 - Кућиште пумпе SS 316L
 - Ротор SS 316L
 - Вратило SS 316L



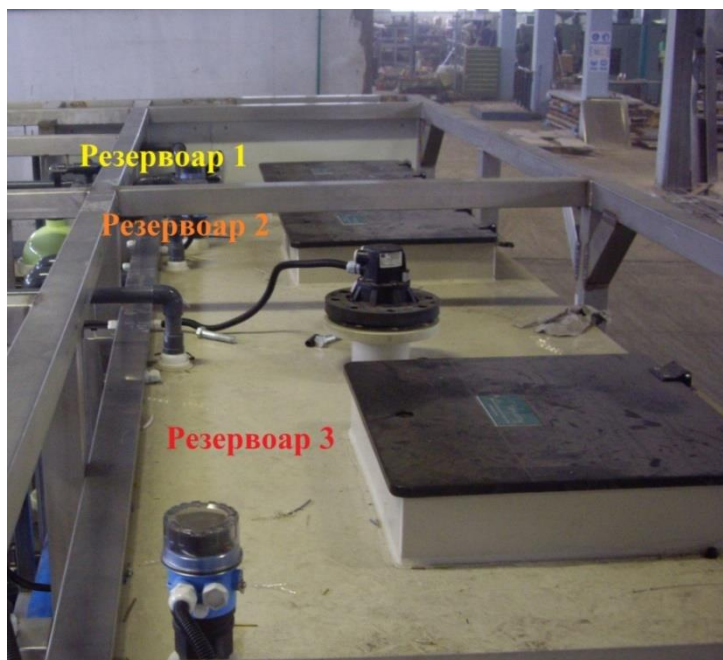
Слика 45 – Пумпа за РО мембране

РО резервоар

РО резервоар је постављен у систему како би се обезбедила акумулација пречишћене воде која се користи за дистрибуцију. Резервоар је опремљен системом за контролу нивоа воде. Такође резервоар има преливни и дренажни систем, као и филтрирање ваздуха да би се спречио долазак било какве честице у резервоар. На слици 46 приказана су сва 3 резервоара.

Карактеристике резервоара:

- Број резервоара: 1
- Тип резервоара: правоугаоног облика, затворен
- Димензије: 2000 x 1000 x 1500 mm
- Прикључак: 1 "BSP
- Материјал: полипропилен



Слика 46 – Резервоари као саставни део постројења (1 – Резервоар након грубог филтера, 2 – Резервоар након ултрафилтрације, 3 – Резервоар за пречишћену воду)

Корекција рН вредности

Систем поседује и јединице за корекцију рН вредности како би се њена вредност прилагодила рН вредности прописаној за пијаћу воду. Комплетан систем за дозирање са резервоаром поставља се на носећу конструкцију. На слици 47 је приказан уређај за мерење рН вредности који се користи у систему (Liquisys M CPM223/253).



Слика 47 – Уређај за контролу рН вредности

Дезинфекција

Дезинфекција се обавља преко јединице за дозирање NaOCl-а. Мерење количине слободног хлора се обавља како би се он поставио на вредност прописану за пијаћу воду. Комплетан систем за дозирање са резервоаром је постављен на носећу конструкцију.

Мерачи протока

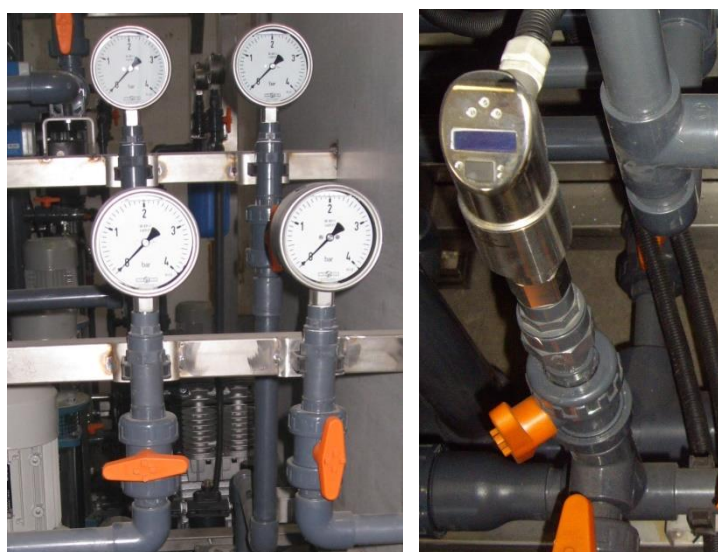
Мерачи протока су постављени на више места у систему како би се пратила промена протока. У систему су укључени механички и дигитални мерачи. Механички (слика 48 лево) омогућавају оператеру да визуелним читавањем прати промену протока, док дигитални (слика 48 десно) служе да систем детектује евентуалну промену протока и регулацијом пумпе регулише проток.



Слика 48 – Механички и дигитални мерачи протока

Мерачи притиска и предајници за притисак

Мерачи притиска (слика 49 лево) омогућавају праћење промене притиска у систему и на тај начин спречавају да дође до евентуалног преоптерећења. Предајници за притисак (слика 49 десно) омогућавају континуално праћење промене притиска на основу којег се сигнализира у контролном кућишту ако дође до искакања из граничне вредности.



Слика 49 – Мерачи притиска и предајник за притисак

Славине за узорковање

Да би се омогућило тачно узорковање третиране воде, на више места у систему постављене су славине за узорковање (слика 50).



Слика 50 – Славина за узорковање

Чишћење система

Јединица за чишћење је пројектована тако да се користи у два процеса чишћења (чишћење УФ модула, као и РО модула). Пумпе и опрема за дозирање су постављени на носећу конструкцију (слика 51).



Слика 51 – Резервоар за прање (CIP) и пумпе за прање система

Контролно кућиште

Цео систем је аутоматски контролисан преко контролног кућишта (слика 52). Оно поседује дисплеј на коме оператер може да прочита све потребне параметре. Било какве неправилности у систему, контролно кућиште зауставља цео процес и преко дисплеја обавештава оператера у чему је проблем.



Слика 52 – Контролно кућиште

6.2 Карактеристике система

Цео систем је дизајниран тако да произведе $1 \text{ m}^3/\text{h}$ без прекидања процеса. Овим капацитетом систем може да обезбеди воду за 150 особа (Европска норма 150 l по особи). Веома је важно да, за добар квалитет воде, систем мора да ради 24 h/dan. Уколико постоје неке промене у потрошњи воде биће потребно инсталирати резервоар за компензацију у циљу постизања континуираног рада.

Систем је пројектован за улазну воду са ТДС-ом (укупне растворене чврсте материје) од 11.700 mg/l . Међутим постројење може потпуно исправно да ради са ТДС-ом од $9.000 - 12.000 \text{ mg/l}$. Уколико је вредност ТДС-а нижа или виша од граничних улазна пумпа за реверзну осмозу мора да се мења.

Веома је важно да вода која долази до реверзне осмозе нема резидуалног хлора, гвожђа, мангана и уља. РО мембране нису отпорне на овакве хемикалије. Систем мора бити инсталиран у затвореном објекту са собном температуром између $10-30 \text{ }^\circ\text{C}$. Такође би требало да се обезбеди систем за прикупљање и одстрањивање концентрата (мин. пречник цеви $d = 63 \text{ mm}$). Цев преко које се одстрањује концентрат дата је на слици 53. Укупна инсталисана снага за овај систем је $12,5 \text{ kW}$. Цео систем је приказан на слици 54.



Слика 53 – Дренажна цев



Слика 54 – Изглед читавог постројења

Хемикалије које нису укључене у обим испоруке су:

- NaOH – корекција pH вредности и хемијско чишћење, концентрација чистог NaOH у расположивој хемикалији је 10%, потрошња 20 l/dan
- NaOCl - дезинфекција и хемијско чишћење, потребно је имати 12% хлора, потрошња 0,3 l/dan
- HCL - хемијско чишћење, са 35% концентрације, потрошња 2 l/mesec
- SMBS - користи се за очување система. Ако систем не ради дуже време, користи се натријум метабисулфит чија је потрошња 1000 l за једну годину

Хемикалија која се испоручује са системом је:

- Антискалант - користи се за очување система ако систем не ради дуже време. Хемикалија која се користи је PROTECLEAN RO DS06, а потрошња је 8 kg/mesec.

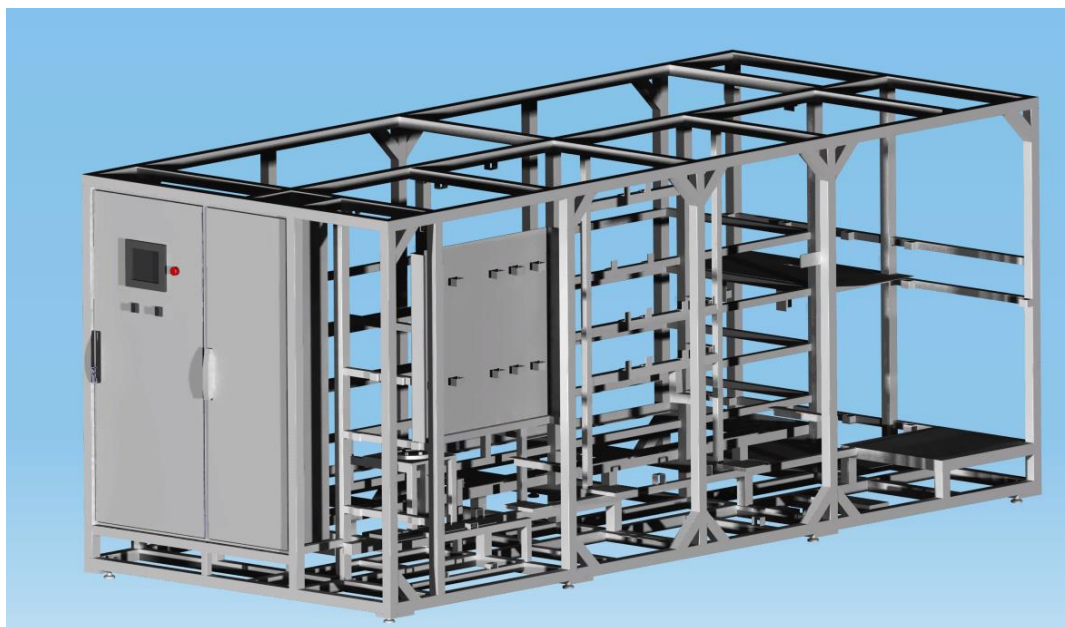
7. 3Д модел постројења за добијање пијаће воде у Кувајту

У оквиру овог мастер рада, а на основу података добијених прорачуном, урађен је 3Д модел постројења за добијање пијаће воде у Кувајту. Модел овог постројења урађен је у програмском пакету CATIA V5R20.

Од многобројних модула који се налазе у самом пакету, у овом раду је коришћено свега два, као што су: Part Design и Assembly. Већина компонената постројења су израђене, односно моделиране у модулу Part Design, док су стандардни елементи, као што су завртњевеи, матице и слични елементи увезени из Catalog Browser. Групе елемената склопани су у подсистеме помоћу модула Assembly, а на крају сви подсистеми састављени су у један велики склоп који чини само постројење, такође помоћу Assembly.

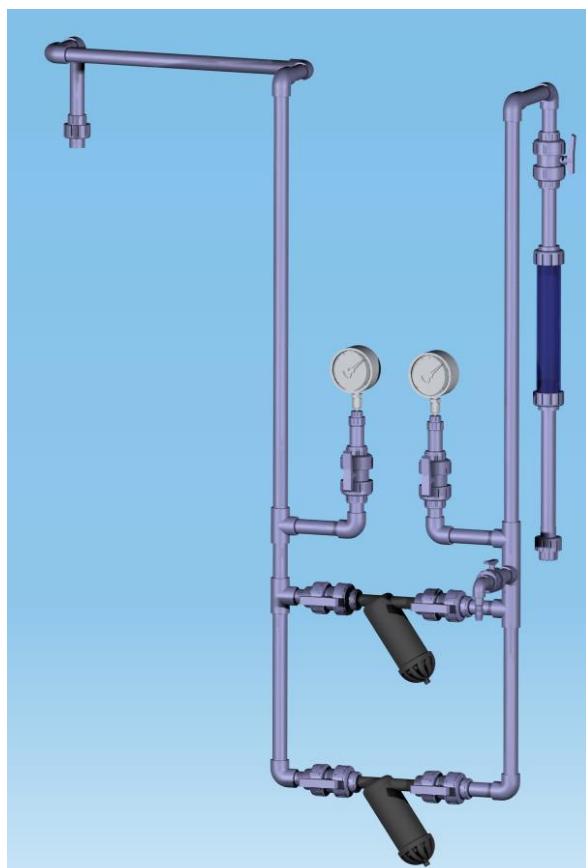
На следећим сликама приказани су подсистеми постројења:

1. Носећа конструкција са контролним кућиштем (слика 55),
2. Груба филтрација (слика 56),
3. Ултрафилтрација (слика 57),
4. Реверзна осмоза (слика 58),
5. Резервоар за прање система (CIP) (слика 59),
6. Резервоари са дренажним системом (слика 56).

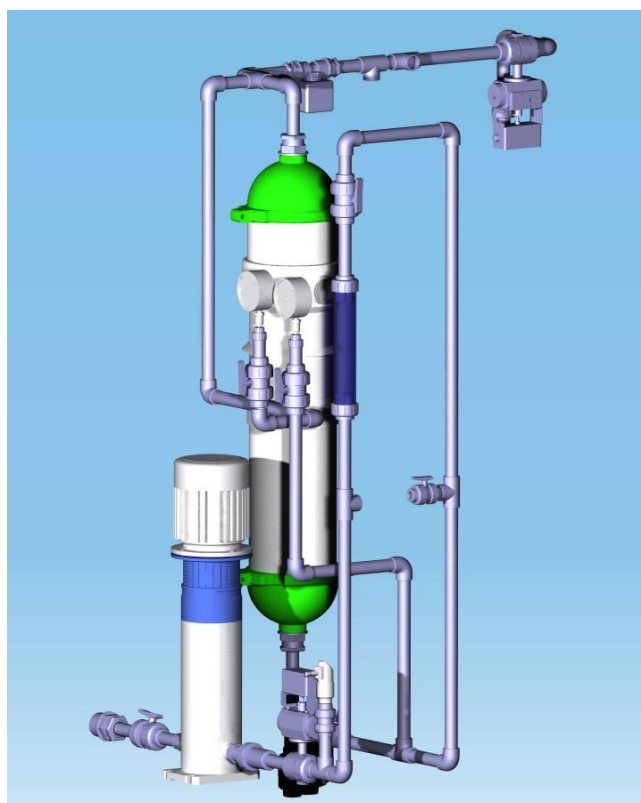


Слика 55 - Носећа конструкција са контролним кућиштем

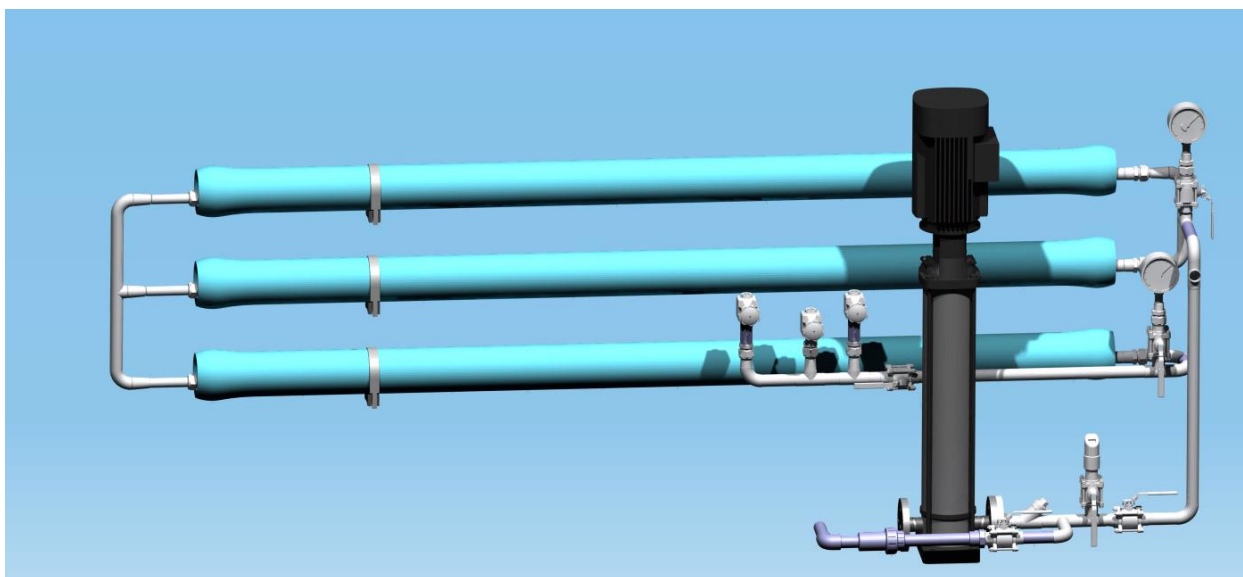
Материјал носеће конструкције је SS 304L, док су његове димензије 5.000x2.200x2.200 mm. Контролно кућиште има заштитни систем од пожара и систем за хлађење опреме која се налази унутар њега.



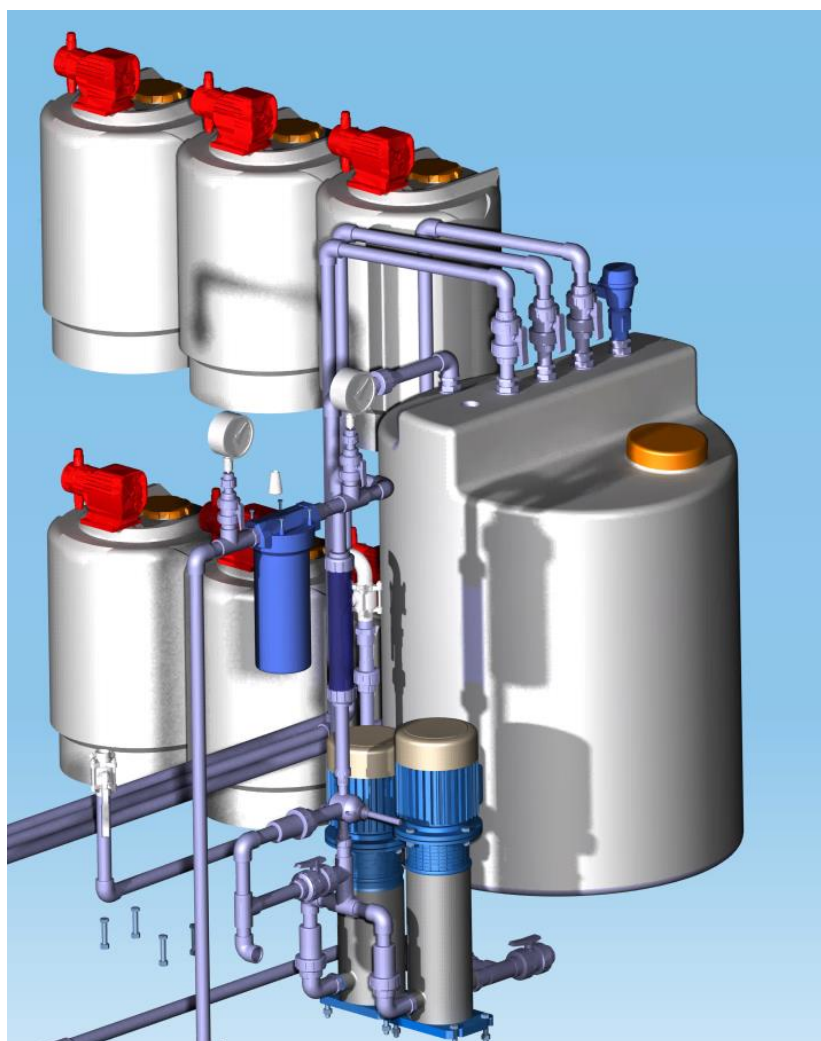
Слика 56– *Филтери за грубу филтрацију*



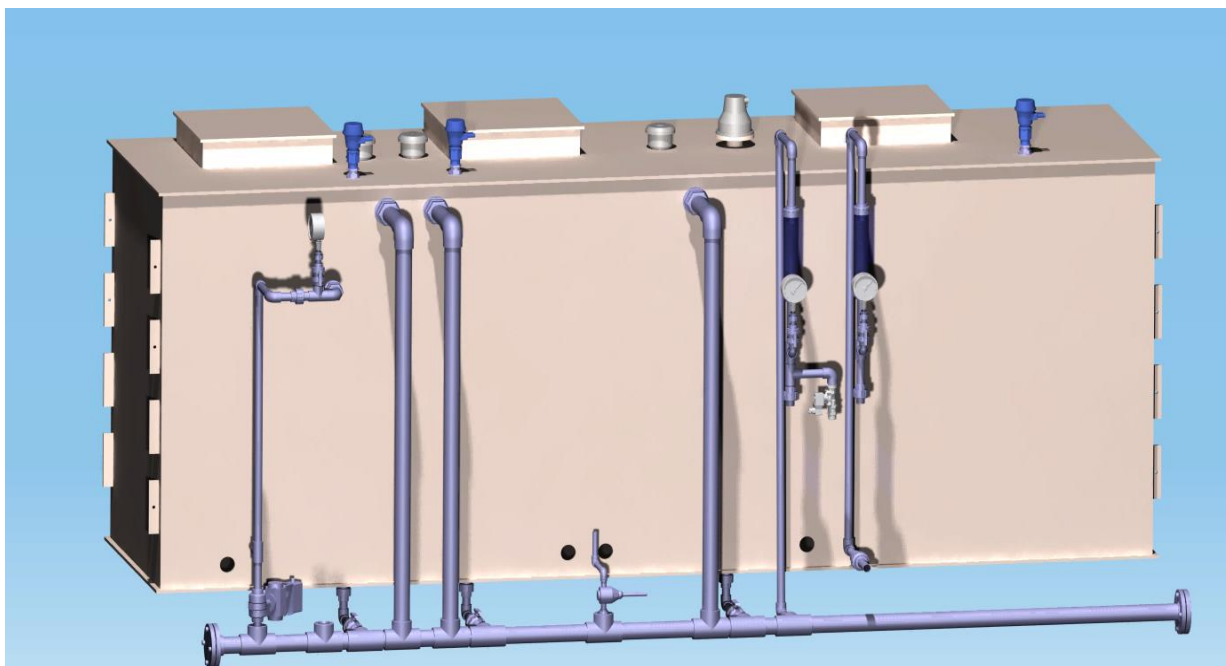
Слика 57 - *Ультрафилтрациони модул Kristal 600ET*



Слика 58 – Модули за реверзну осмозу са високопритисном пумпом

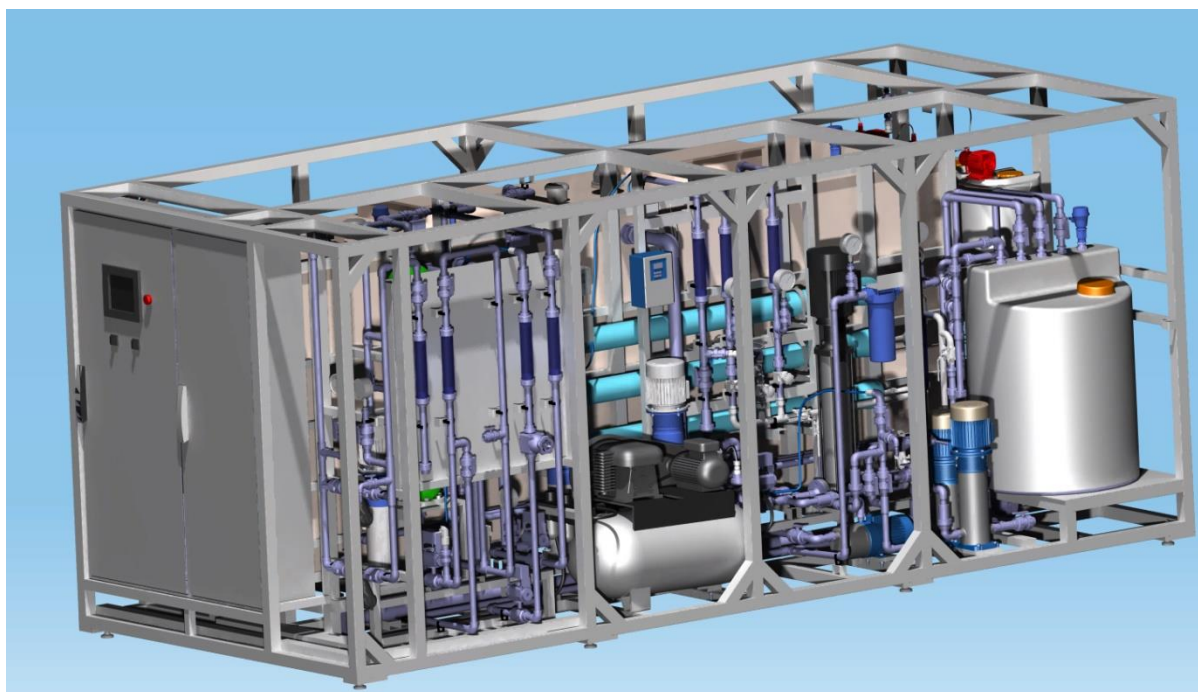


Слика 59 – Резервоари за дозирање хемикалија и за прање система

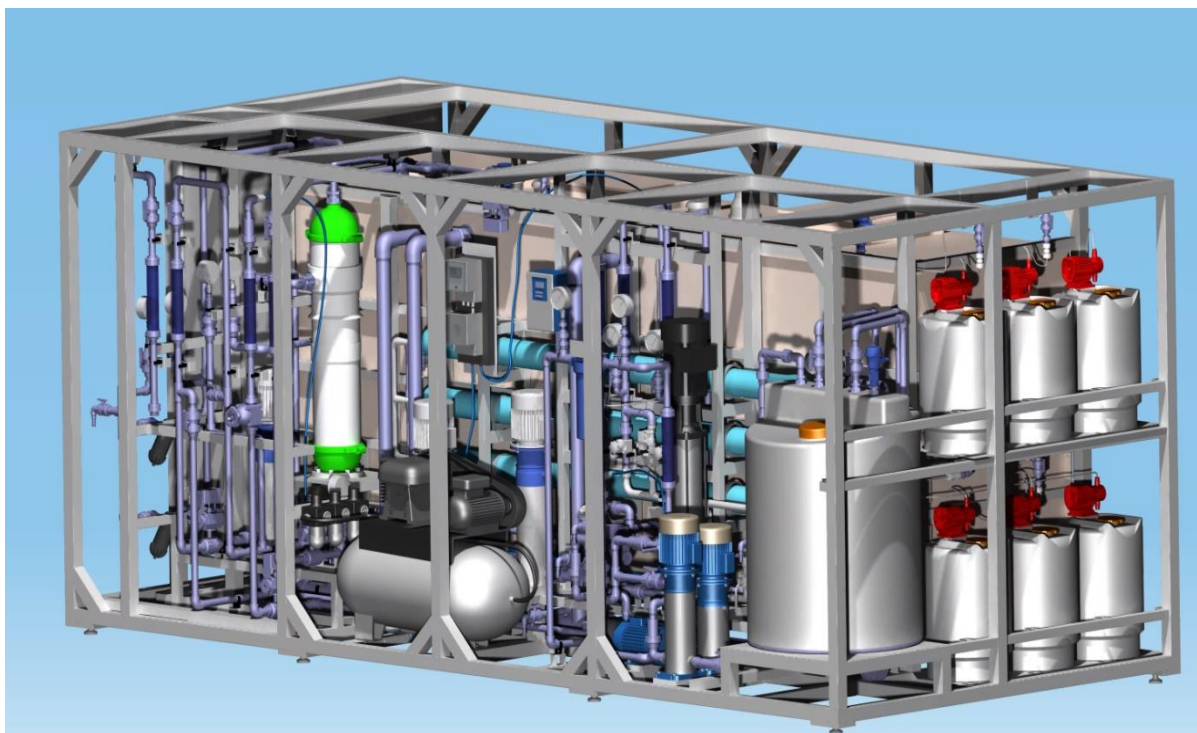


Слика 60 – *Три резервора после сваког степена пречишћавања и дренажни систем*

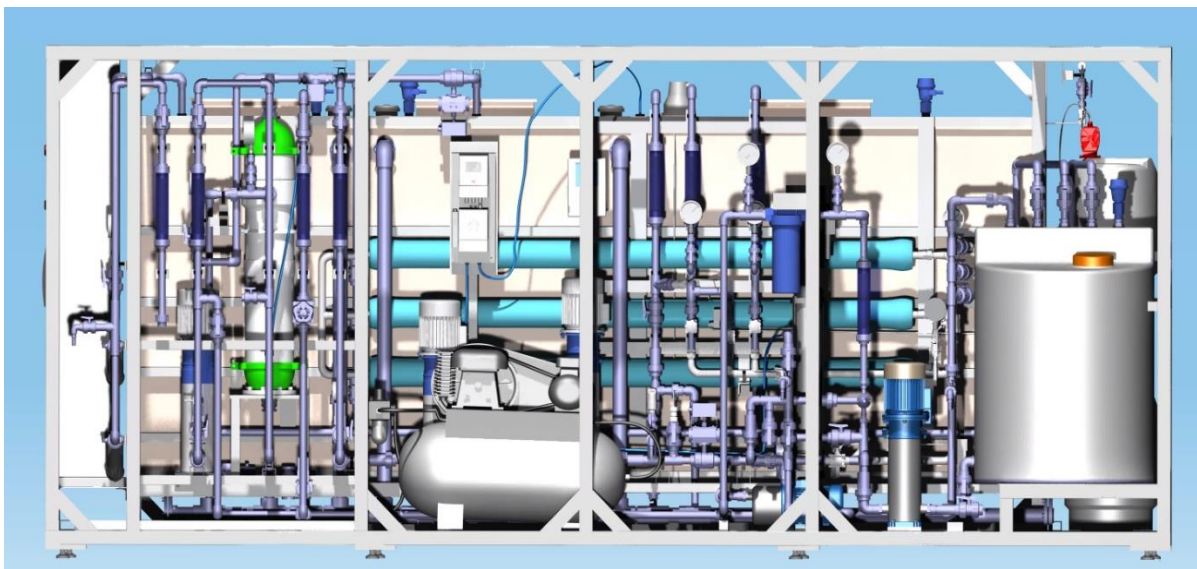
Цео склоп моделиран је од приказаних подсклопова. Склоп целог постројења приказан је на сликама 61, 62, 63 и 64 док су на слици 65 приказане спољне димензије постројења.



Слика 61 – *Централни склоп (поглед 1)*



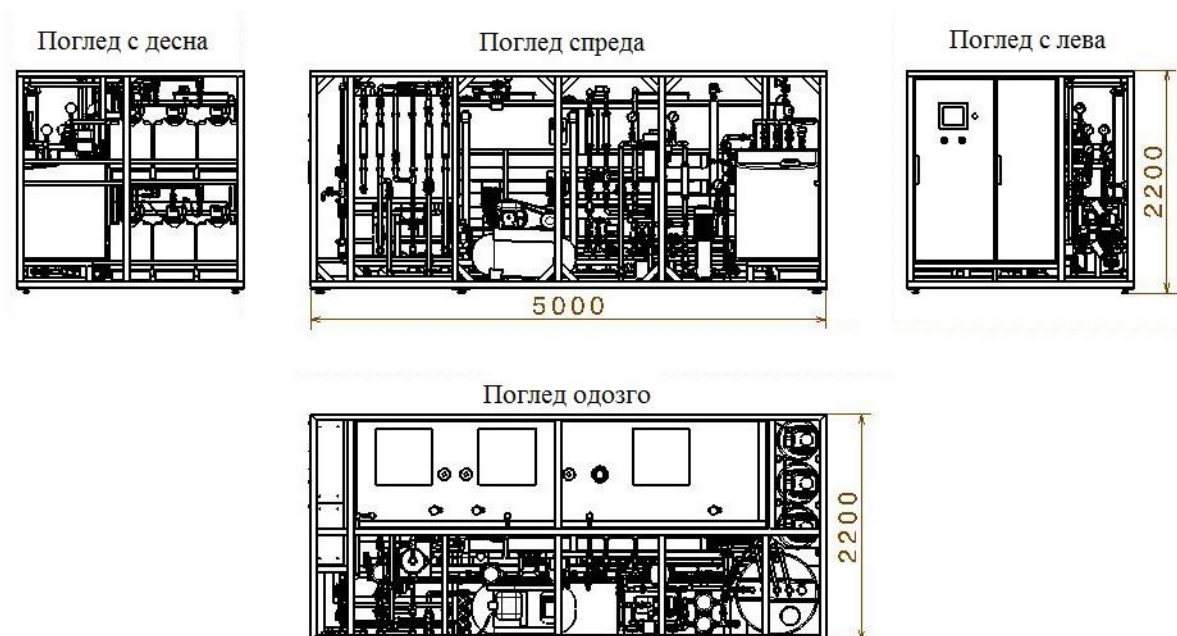
Слика 62 – Централни склоп (поглед 2)



Слика 63 – Централни склоп (поглед 3)



Слика 64 – Централни склоп (поглед 4)



Слика 65 – Спољне димензије склопа

8. Закључак

Кувајтска клима и географија спречавају развој пољопривреде. Осим риболова, целокупна држава се ослања на увоз хране. Око 75% пијаће воде мора да се или десалинизује или увезе. Да би се од слане воде добила пијаћа неопходно је да она прође кроз неколико процеса као што су: груба филтрација, ултрафилтрација и мембрански процеси.

Мембрански процеси представљају скоро савршен процес филтрирања кроз одстрањивање најситнијих честица из воде. Мембранска филтрација се користи за пречишћавање воде и одстрањивање неорганичких минерала, соли и осталих нечистоћа у циљу побољшања изгледа, укуса и осталих својстава воде. Тако се добија квалитет вода за пиће који задовољава све стандарде вода за пиће.

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

Цео систем пројектован је да задовољи потребе купца, а спакован је тако да не заузима много простора и испоручен као целина лако се монтира и пушта у рад. Систем је опремљен са доста вентила, тако да ако дође до евентуалног кvara, није потребно празнити систем, већ се затвара доток дела цевовода којем је потребан ремонт. Захваљујући аутономији система тј. његовим самосталним управљањем преко контролног кућишта, за праћење његовог рада довољно је једно стручно лице по смени.

Адекватним управљањем система добија се вода прописаног квалитета, где након периода његове исплате купац остварује чист профит уз минималне трошкове одржавања.

9. Литература

- [1] Шуштершич В., *Технологије и постројења у припреми воде за пиће и третману отпадних вода*, Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу, 2014.
- [2] <http://www.makroekonomija.org/0-miroslav-zdravkovic/raspolozivost-pijacom-vodom-u-svetu-rang-zemalja/> (приступљено 7.8.2015.)
- [3] Правилник о хигијенској исправности воде за пиће Републике Србије, ("Сл. лист СРЈ", бр. 42/98 и 44/99)
- [4] Пећар К., Бајтал Х., Ультрафилтрација у припреми питке воде,, Енергетика, gospodarство, екологија и етика, бр. 4, стр 132-135, 2011
- [5] Бајкин Ј., Војиновић–Милорадов М., *Преглед најчешће коришћених поступака пречишћавања пијаће воде у Канади*, стручни рад, Факултет Техничких наука, Нови Сад, 2009.
- [6] Kocher J., Dvorak B., Skipton Sh., Drinking water Treatment: Reverse Osmosis, publication, Institute of Agriculture and Natural Resources, University of Nebraska - Lincoln, October 2003.
- [7] <http://www.eoearth.org/view/article/156957/> (приступљено 5.8.2015.)
- [8] <http://www.siemens.com/entry/cc/en/> (приступљено 7.8.2015.)
- [9] Прошек Е., Тестирање мембранских модула за ултрафилтрацију, дипломски рад, Факултет за грађевину и геодезију, Универзитет у Љубљани, 2011
- [10] Бајрамовић Е., Маликић Е., Мехичић А., *Мембрански процеси: микро и ултрафилтрација мембранских процеса*, семинарски рад, Технолошки факултет, Универзитет у Тузли, 2010.
- [11] H. K. El-Shamy, I. I. Mansi, O. A. Al-Fulaij, *Drinking water in Kuwait*, Journal (American Water Works Association) Vol. 63, No. 12, pp. 783-786, December 1971
- [12] Brackish Water Treatment Skid BW-UR-010, technical description, Milanović inženjering, Jun 2015.
- [13] Каталог: *Technical specification Kristal 600ET*
- [14] Каталог: *Calpeda Vertical and horizontal Pumps*
- [15] Каталог: *Technical specification FILMTEC BW30-4040*
- [16] Каталог: *Grundfos wasserversorgungsanlagen*