

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Катарина Д. Ђонових

**Пројекат изградње мембранског постројења за
третман слане воде са посебним освртом на
техно-економску анализу постројења**

Мастер рад

Крагујевац, 2015. године

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: 315/2013

Катарина Д. Ђоновић

Пројекат изградње мембранског постројења за третман слане воде са посебним освртом на техно-економску анализу постројења

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Др Вања Шуштершич, ванр. проф. - ментор**

Датум одбране: _____

2. _____

Оцена: _____

3. _____

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, уради прорачун, прикаже неопходну техничку документацију и уради техно-економску анализу датог постројења.

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] Kocher J., Dvorak B., Skipton Sh., *Drinking water Treatment: Reverse Osmosis*, publication, Institute of Agriculture and Natural Resources, University of Nebraska - Lincoln, October 2003
- [3] Пећар К., Бајтал Х., *Ультрафилтрација у припреми питке воде*, Енергетика, господарство, екологија и етика, бр. 4, стр 132-135, 2011

Крагујевац, септембар 2015. године

Ментор:
Др Вања Шуштершич, ванр. проф.

Резиме:

Употреба мембрана, односно мембранске филтрације, заузела је последњих неколико деценија врло важно место у технологији прераде воде и данас се употребљава за велики број процеса обраде воде. Поље потенцијалних апликација за мембранску филтрацију континуирано расте са повећањем захтева за доступност питке воде за растућу популацију. Траже се нови, неисцрпни извори из којих се помоћу мембранских процеса може добити питка вода. Управо један од таквих извора је морска вода.

У раду је приказано техничко решење постројења за прераду слане воде у воду за пиће помоћу мембранских процеса. Постојење је пројектовано за морску воду са обала Персијског залива у држави Кувајт. То је држава са малим количинама свеже пијаће воде и управо држава где су овакви системи најпотребнији.

Поред техничког описа одрађен је прорачун за добијање квалитета произведене пијаће воде у програму ROSA (Reverse Osmosis System Analysis), као и економски прорачун како би се добио период исплативости постројења.

Кључне речи: мембрански процеси, ултрафилтрација, морска вода

Abstract:

The use of membranes or membrane filtration, ranked last few decades a very important place in the technology of water treatment and today is used for a large number of water treatment process. The field of potential applications for membrane filtration continuously increases with increasing demands for the availability of drinking water for the growing population. New, inexhaustible sources from which can get drinking water using membrane processes are looked for. The one of those sources is sea water.

The paper presents a technical solution of processing plant which converts salt water into drinking water using membrane processes. The plant is designed for sea water from the shores of the Persian Gulf in the State of Kuwait. It is a country with a small amount of fresh drinking water and country where such systems are the most needed.

In addition to the technical description, calculation is done to obtain the quality of the produced drinking water in the program ROSA (Reverse Osmosis System Analysis), and economic calculation to afford a pay back period of the plant.

Key words: membrane processes, ultrafiltration, sea water

Садржај

1. Увод.....	1
1.1 Слана вода и њене карактеристике	3
1.2 Карактеристике пијаће воде.....	5
1.3 Микробиолошка својства воде	9
2. Предtretман слане воде	10
2.1 Ултрафилтрација.....	11
2.2 Повратно прање (back wash) и испирање	13
2.3 DAF поступак - Dissolved Air Flotation.....	14
3. Мембрански процеси.....	16
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.....	24
4.6 Проблеми који се јављају при коришћењу мембрана	26
4.7 Контрола квалитета воде.....	28
5. Хемијски третман воде.....	29
6. Постројење за третман слане воде у циљу добијања пијаће воде.....	30
6.1 Технички опис постројења.....	32
6.2 Додатне карактеристике система	51
7. Софтверски прорачун постројења.....	54
8. Економски прорачун постројења	60
9. Закључак	64
10. Литература.....	65

1. Увод

„Вода је основни принцип и узрок свега што постоји, из које је све настало и у коју се све враћа. Она је бесконачна, вечна материја која се креће, згушњава и разређује и тако настају све појаве. Где нема воде ту нема живота. То је прва потреба човека, коју он мора трајно да обезбеди, пре него што почне да гради своје станиште.” (Талес из Милета, математичар, грчки филозоф, физичар и астроном)

Вода је у природи најраспрострањенија материја и покрива 71% површине Земље. Од укупне количине воде само 2,4% воде је слатка вода и може се употребити за задовољавање већине људских потреба. У табели 1 дат је преглед расподеле слатких вода на Земљи. [1]

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

Вода	%
Лед (поларни, ледници...)	78,1
Подземна вода	21,03
Влага тла	0,45
Језера (слатководна)	0,37
Реке	0,005
Атмосфера	0,039

Највећи део слатких вода се налази заробљен у леду на северном и јужном полу. Други део се налази у подземним водама. У рекама се налази запремински најмање слатких вода у односу на укупну расположиву количину на планети. Значајни део слатких вода се налази у атмосфери. Имајући у виду стално загађивање вода, у атмосфери се налази најчистија вода, али не сме се заборавити да се у последње време интензивно загађује атмосфера, па се и квалитет ових вода доводи у питање.

Атмосферским падавинама се обнавља вода на земљи. Величина падавина зависи од многих фактора, од географске дужине и ширине, надморске висине, близине мора итд. Поред географске неравномерности у расподели падавина, присутна је неравномерност у времену, у зависности од годишњих доба. Количина падавина се такође мења у вишегодишњим периодима, те се говори о временског циклусу. Путем испаравања и транспирације значајни део воде се враћа у атмосферу, приближно 62% од падавина.



Слика 1 - Хидролошки циклус

Вода као фактор средине има велики значај за људе, екосистеме и за планету као целину. Вода чини 60% људског организма и истовремено представља и неопходну намирницу без које не може да се опстане дуже од неколико дана. Такође представља и енергију помоћу које се обавља размена и доток хранљивих материја и минерала из земље у биљке, да би на крају, путем транспирације, напустила биљку.

Често се каже да ће се ратови у будућности водити због пијаће воде. Број становника на нашој планети убрзано се повећава, потреба за водом још и брже, а њена количина се не мења. До 2025. године две трећине човечанства осетиће озбиљан недостатак воде. Процене стручњака кажу да око 1,1 милијарда људи нема приступ пијаћој води, 2,5 милијарде нема обезбеђене елементарне санитарне услове, а више од пет милиона људи годишње умире од болести које су узроковане загађеном водом.

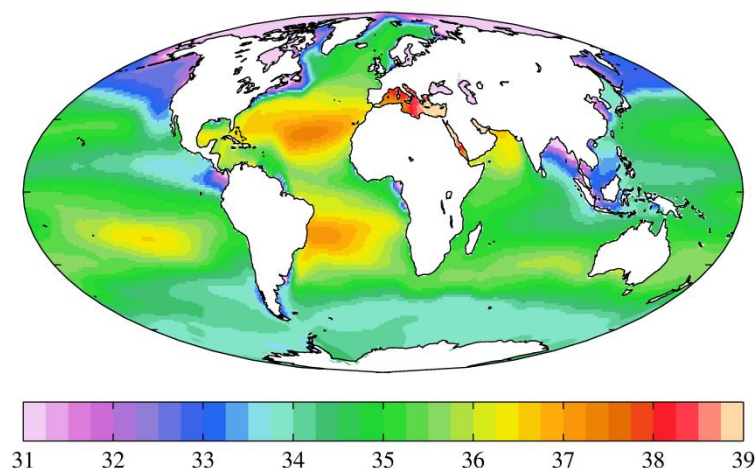
Посебан проблем представља загађење подземних вода. Ова загађења једним делом узрокује пољопривреда – због коришћења вештачког ђубрива и отпадне воде из сеоских насеља. Велики проблем представља и последица загађења вода са неуређених депонија. Вода и отпад повезани су нераскидиво и погубно. Сваки отпад пре или касније доспева до подземних вода загађујући је. То је дуготрајан и људском оку скривен процес. Извори воде стално ће се смањивати због пораста броја становништва, загађења и климатских промена.

Недостатак воде неминовно води у сиромаштво, глад и ширење заразних болести, а у исто време омогућава онима који имају монопол над водом огромну зараду. Због тога је потребно штитити и рационално користити ову малу количину пијаће воде, а исто тако искористити сва знања и технологија за добијање исте.

1.1 Слана вода и њене карактеристике

С' обзиром да је свеже пијаће воде на свету све мање, а да су слатке воде које се могу искористити за добијање пијаће воде све више загађене, потребно је наћи нови извор из кога се може добијати вода за пиће. Управо један такав извор је морска вода. Светско море представља јединствену целину - огромну водену масу која је континентима и острвима подељена на друге мање целине - океане и мора. Слана вода заузима 97,2% од свих вода на Земљи.

У просеку вода у светским океанима има салинитет од ~3,5‰. То значи да на сваки литар морске воде долази 35 грама различитих растворених соли. Иако се већина морске воде може пронаћи у океанима са салинитетом око 3,5‰, салинитет није свуда исти. Најмање слано море на свету се налази у источним деловима Финског залива и у северном делу Ботничког залива, који обоје припадају Балтичком мору. Најсланије отворено море је Црвено море, где високе температуре и ограничена циркулација резултују у великој мери испаравања, а такође и релативно мали принос свеже воде из река. Салинитет у изолованим морима и сланим језерима (нпр. Мртво море) је далеко већи.



Слика 2 – Салинитет у свету (mg/l)

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, хидроген карбоната, 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 2.

Табела 2 – 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 ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Измереном вредношћу електричне проводљивости може се проценити степен минерализације воде и тако оценити о којој је врсти воде реч, што је приказано у табели 3.

Табела 3 – Електропроводљивост воде

Тип воде	Електропроводљивост ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Јако чиста вода	< 0,05
Питка вода	< 1000
Минерална вода	1000 – 3000
Умерено слана вода	> 1000
Морска вода	> 50000

Количина и међусобни односи елемената у траговима у мору су променљиви. Ради се о стварима које су организму потребне у малим количинама, али имају велику важност за здравље и одвијање животних функција. Њихова присутност или одсутност често одређује хоће ли се неки тип организма развити и опстати. Хемијски састав морске воде дат је у табели 4.

Табела 4 - Главни конституенти морске воде

Врста	Проценат
Хлориди	55,04%
Натријум	30,61%
Сулфати	7,68%
Магнезијум	3,69%
Калцијум	1,16%
Калијум	1,1%
Укупно	99,28%
Олигоелементи*	0,72%

*Олигоелементи - гвожђе, јод, флуор, бакар, кобалт, манган, молибден, никл, цинк, стронцијум

1.2 Карактеристике пијаће воде

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

Физичка својства или показатељи воде су:

1. Боја воде

Боја воде најчешће води порекло од хуминских материја. Нема већи санитарни значај, мада није пожељна из естетских разлога. Обојена вода компликује процес коагулације у фази припреме воде за пиће. Гранична вредност за интензитет боје воде за пиће, требало би да је 10 – 20 °С кобалт - платинске скале, односно до највише 20 mg/l потрошње KMnO_4 , ако вода садржи хуминске материје (слика 3).



Слика 3 – Боја воде

2. Мутноћа воде

Мутноћа настаје због садржаја суспендованих и колоидних материја. Мутноћа је карактеристична за површинске, крашке и плитке подземне воде. Настаје најчешће спирањем тла, падавинама, а може потицати од живих и мртвих микроорганизама. Мутна вода непогодна је за пиће и неке индустријске процесе (производња хране и пића). Гранична вредност за мутноћу, изражена у нефелометријским јединицама (НТУ), износи до 1,2 (слика 4).



Слика 4 – Мутна вода

3. Мирис и укус воде

Мирис и укус настају због присуства микроорганизама, мртвих или живих, растворених гасова (водоник - сулфид, метан, угљен - диоксид или кисеоник), органских материја, минералних супстанци (натријум - хлорид, једињења гвожђа, карбонати и сулфати других елемената), фенола и друге катранске и уљне материје нарочито после хлорисања. Непријатан укус воде настаје због њеног загађења киселинама из рудника и загађеним водама индустрије. Вода за пиће треба да је без мириса и укуса. Заправо, вода за пиће мора имати питак укус, који освежава.

4. Температура воде

Температура је битан критеријум исправности воде. Најпогоднија температура воде за пиће је 281,16 - 285,16 К или 8 – 12 °С. Порастом температуре вода губи питкост, више се пије да утоли жеђ што може штетно деловати на дигестивни тракт. Хладнија вода је непогодна за слузокожу ждрела и дигестивни тракт. Порастом температуре воде повећава се брзина хемијских реакција и опада растворљивост важнијих гасова, затим опада њена густина и вискозност, па се суспендоване материје лакше и брже таложе.

5. Резидуалне чврсте материје

То су материје које остану иза испаравања, јер у води увек постоји већа или мања количина растворених или суспендованих материја. За пиће су најпогодније воде чији је резидуални остатак до 500 mg/l, мада је по нашем правилнику за кондициониране воде дозвољено до 800 mg/l. Вода са већом количином резидуалног остатка (тврда вода) није погодна за индустријску употребу.

6. Проводљивост

Проводљивост је користан физички показатељ квалитета воде, јер се преко мерених вредности електричне проводљивости воде може добити индикација о концентрацији укупно растворених материја (степен минерализације воде). За ово је потребно и познавање коефицијента пропорционалности (КО) за поједине врсте вода чија се вредност креће од 0,55 - 0,90 (проводљивост = КО /укупно растворене материје). Вода за пиће има проводљивост од 5 - 50 $\mu\text{S}/\text{m}$, а неке индустријски загађене воде прелазе и 1000 $\mu\text{S}/\text{m}$. Нашим Правилником о хигијенској исправности воде за пиће проводљивост је ограничена до 500 $\mu\text{S}/\text{m}$ при 293,16 К. [2]

У табели 5 дате су потребне количине ml узорака да би се одредили физичко-хемијски индикатори [2].

Табела 5 - Потребне количине ml узорака

Физичко-хемијски индикатори	Запремина узорака, ml
Боја	100 - 500
Мирис	100 - 500
Температура	Проточно
Мутноћа	100 - 1000
Електрична проводљивост	100

Хемијска својства воде, за разлику од физичких, разноврснија су и важнија за моменталну процену квалитета. Свака хемијска супстанца може да буде отров, што зависи од концентрације, дужине уношења и својства саме супстанце. За оцену повољности воде за пиће најважнија су:

1. Оксидативност

Оксидативност је укупан садржај загађивача (органских и неорганских) који реагују са јаким оксидансима. Оксидативност се одређује у mg/l кисеоника потребног за оксидацију загађивача. Код оксидације стално се мења однос између концентрације оксидираног и редуцираног облика полутанта. Потенцијал потребан за прелаз електрона са оксиданта на редукцент назива се редокс - потенцијал. Сва оксидирајућа способност воде готово у потпуности потиче од раствореног кисеоника. Његово је присуство од суштинске важности за одржавање виших облика биолошког живота, због тога растворени кисеоник представља један од најважнијих показатеља квалитета воде. Чисте воде, засићене кисеоником, имају пријатан и освежавајући укус, док се за индустрију траже воде са мањом количином раствореног кисеоника због оксидације и корозије.

2. pH вредност

Она карактерише киселост (ацидитет) или базичност (алкалитет) воде и дефинише се као негативан логаритам концентрације водоник јона, $pH = -\log [H^+]$. Код неутралне реакције је $pH = 7$, базичне $pH > 7$ и киселе $pH < 7$. Скала pH вредности дата је на слици 5. Вредност pH показатеља код воде за пиће треба да се креће у границама 6,5 - 8,5. Киселе воде су агресивне, потпомажу корозију, а утичу и на неке хемијске и биолошке процесе кондиционирања. Киселост воде потиче од слабих киселина (већина органских киселина), затим од соли метала (нпр. гвожђа, алуминијума...), као и од слободно присутних јаких киселина. Базичност потиче од карбоната, бикарбоната и хидроксида, а такође, у мањој мери, и од анјона слабих киселина (фосфата, силиката).



Слика 5 – Скала рН вредности

3. Тврдоћа воде

Тврдоћа воде условљена је постојањем растворених соли калцијума и магнезијума. Разликујемо карбонатну тврдоћу (пролазна), која потиче од металних јона везаних у облику бикарбоната, и некарбонатну тврдоћу (стална) одређену количином некарбонатних соли (хлорида, сулфата, нитрата калцијума и магнезијума). Последице тврде воде приказани су на слици 6.



Слика 6 - Последице тврде воде

Карбонатна и некарбонатна тврдоћа чине укупну тврдоћу воде, која би код воде за пиће требало да буде у границама 10 - 500 mg/l. Ипак, количине веће од 100 - 200 mg/l могу се сматрати непожељним за домаћу и индустријску употребу. Тврде воде су непожељне у индустрији због веће потрошње горива за загревање котлова, формирања каменца и сл. Иначе се сматра да оне не представљају опасност по људско здравље.

У табели 6 дате су потребне количине ml узорака да би се одредили хемијски индикатори [2].

Табела 6 - Потребне количине ml узорака

Хемијски индикатори	Запремина узорака, ml
рН вредност	100
Тврдоћа	50 - 100
Оксидативност	500 - 1000

1.3 Микробиолошка својства воде

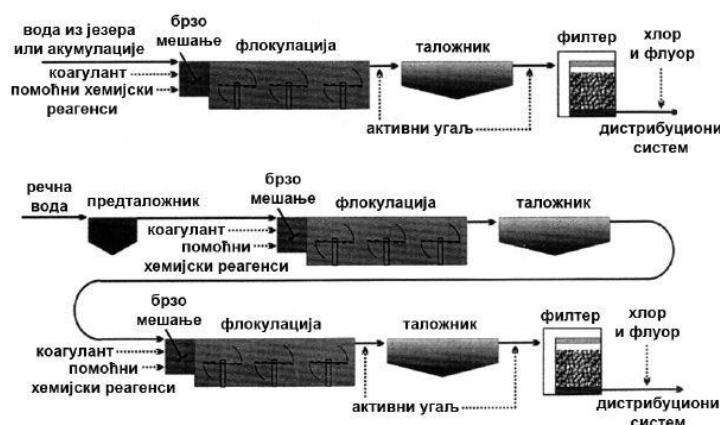
Садржај бактерија у води за пиће чини најважнији санитарни (хигијенски) показатељ квалитета воде. Воде се загађују патогеним и другим микроорганизмима путем фекалног загађења људског и животињског порекла. Због директне опасности по здравље становништва, вода за пиће не сме да садржи такве микроорганизме.

Индикатори фекалног загађења воде дозвољавају се у зависности од врсте и значаја воде (пречишћена вода, дезинфикована, флаширана и природна - сирова вода). Пошто се патогене бактерије тешко доказују у води за пиће, истражују се само индикатори фекалног загађења, и тек када се на основу базног или проширеног прегледа установи одступање од микробиолошких особина, онда се у складу са важећим „Правилником о хигијенској исправности воде за пиће“, траже и патогени микроорганизми салмонеле и шигела врсте, али не и вобрио-колере, вируси итд.

Уколико постоје хигијенско - епидемиолошке индикације, пратиће се и други микрорганзми, сем салмонела и шигела врсте. У погледу бактериолошких норми нема никаквих одступања у ванредним приликама и рату у односу на свакидашње стање. Истина, у ванредним приликама и рату прате се само два индикатора фекалног загађења - укупан број аеробних мезофилних бактерија и укупан број колиформних бактерија.

2. Предтретман слане воде

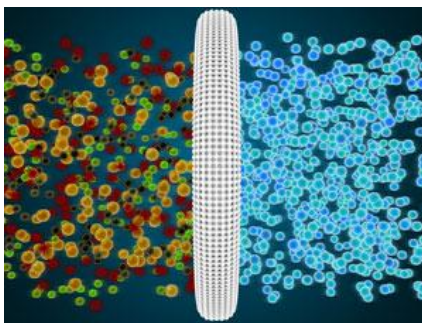
Производња воде за пиће обавља се применом одговарајућих операција и процеса. Погоршавањем квалитета сирове воде са изворишта повећава се број и сложеност операција и процеса које треба применити да би се постигао прописани квалитет воде за пиће (слика 7). Процеси кондиционирања засновани су на физичким, хемијским и биолошким дејствима, којима се постиже уклањање непожељних састојака из сирове воде.



Слика 7 – 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 (слика 8). Ултрафилтрација није процес који се спроводи само током третирања питке воде. Та метода постаје све важнија у процесу предтретмана тј. пре десалинизације.



Слика 8 – Продукт ултрафилтрације

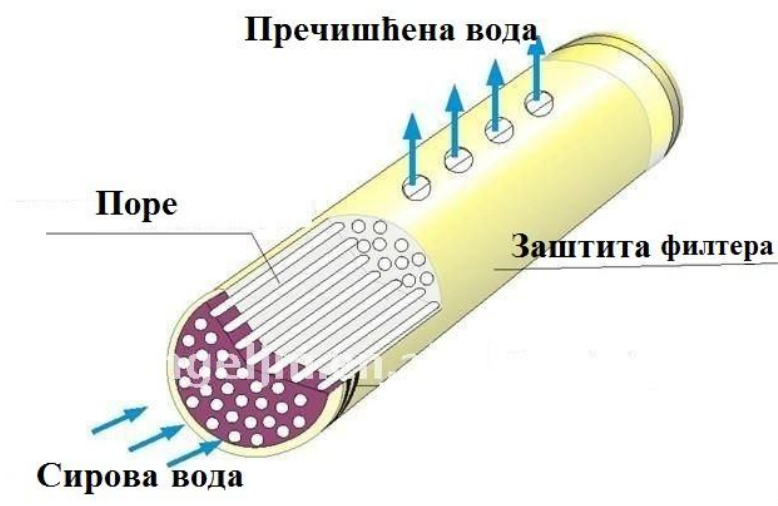
2.1 Ультрафилтрација

Ультрафилтрација је процес сепарације, под притиском преко мембарне, који одваја честице загађења од растворљивих компоненти у носећој течности (као што је вода). УФ мембране имају величину пора у распону од 0,01 – 0,1 μm и имају високу способност уклањања бактерија и највећег броја вируса, колоида и муља. Што је мања величина номиналних пора, то је већа способност уклањања (слика 9).



Слика 9 – Поре мембрана за ультрафилтрацију

Већина материјала који се користе при ультрафилтрацији су полимерни материјали који су природно хидрофобни. Уобичајни полимерни материјали који се користе укључују: полисулфон (ПС), полиетерсулфон (ПЕС), полипропилен (ПП), или поливинилиден флуорид (ПВДФ). Иако се ови материјали могу помешати са хидрофиличним супстанцама, они могу редуковати способност мембране да буде очишћена са средствима за дезинфекцију велике јачине као што је хипохлорит, који утиче на даље ширење бактерија.



Слика 10 – Приказ ультрафилтрације

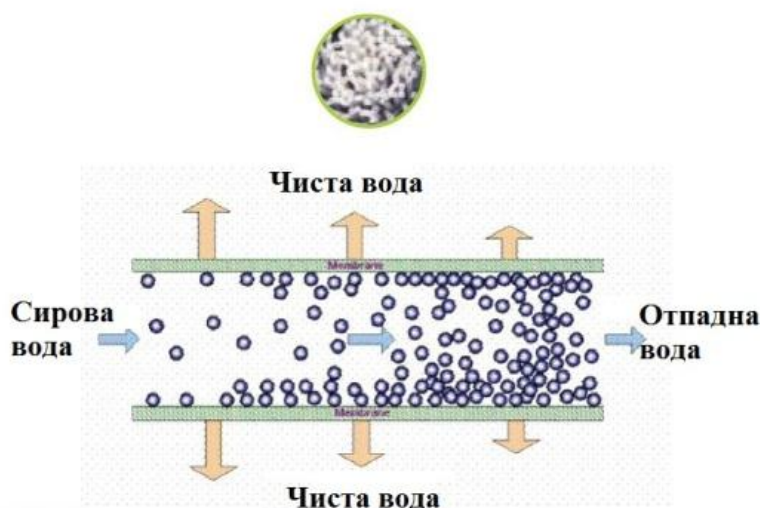
Ультрафилтрација се најчешће користи за комплетно уклањање полена, алги и органских материја. Она чува равнотежни однос минералних једињења у води, док се истовремено смањује количина отпадних вода, као и потреба за употребом хемикалија.

Најчешће области примене ультрафилтрације су:

- Припрема воде за пиће,
- Индустрија (млечна, производња сира),
- Прехрамбена индустрија (протеини),
- Метална индустрија (уље, сепарација водених емулзија, третман боја),
- Текстилна индустрија и
- 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 кроз ультрафилтрацијске јединице су пројектовани за потпуни аутоматски рад с минималним људским фактором. Шема ультрафилтрације дата је на слици 11.



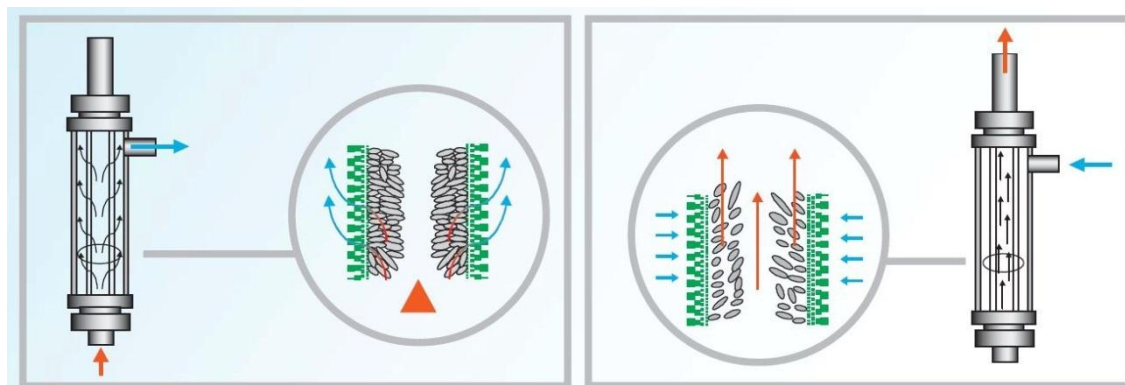
Слика 11 - Шема ультрафилтрације

Највећа предност ултрафилтрације 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 зато пружа поуздано снабдевање квалитетном водом.

2.2 Повратно прање (back wash) и испирање

Веома је важно, приликом пројектовања система за ултрафилтрацију предвидети и испирање система, као и хемијски потпомогнуто прање (СЕВ). Оно је програмирано према начелу бројача радних циклуса филтрације и покреће се у зависности од задатих параметара воде и радном стању уређаја. Укључује дозирање минималних количина хемикалија потребних за прање накупљеног концентрата органског и неорганског порекла на површини мембране. [3]

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 дозирног система, односно пумпи којима управља програмирани логички контролер ултрафилтрацијског уређаја. Смер пречишћавања воде као и смер back wash-а дат је на слици 12.

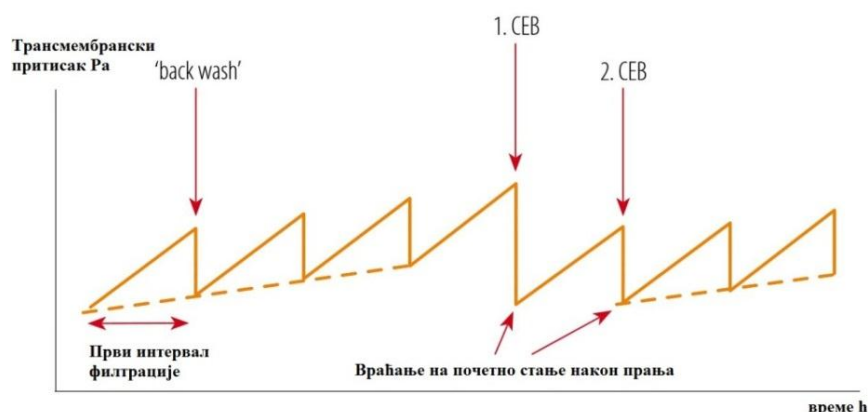


Слика 12 - Смер филтрирања (лево) и back wash (десно)

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 мембране порасте преко 15%. Процедура чишћења обухвата:

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

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



Слика 13 - Графички приказ циклуса филтрирања и прања [3]

2.3 DAF поступак - Dissolved Air Flotation

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. 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 и одводи даље у резервоар (слика 14). [4]



Слика 14 - DAF поступак

Пречишћена вода сакупља се са дна, помоћу решеткастих цеви, које имају отворе довољно мале да спрече евентуални улазак нечистоћа у ток пречишћене воде.

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

Пре DAF поступка може се користити и хемијски предтретман како би се нечистоће што боље уклониле. Хемикалије које се најчешће користе су тровалентне металне соли гвожђа, као што су FeCl_2 или FeSO_4 или алуминијума, као што је AlSO_4 . Такође се, за побољшање DAF процеса, користе органски и неоргански полимери.

3. Мембрански процеси

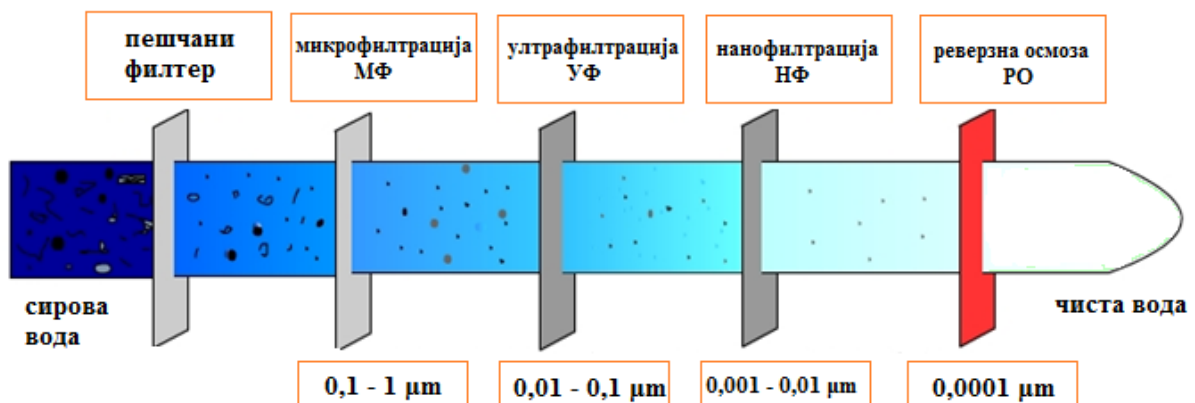
У општем случају мембрански процеси су сви они процеси који се одвијају на мембрани или посредством ње. Ови процеси спадају у сепарационе процесе у којима се у основи врши пренос материје из једне у другу фазу.

Код мембранских процеса као посредник између две фазе користи се микропорозна мембрана или танки мембрански филм као међуфаза. Тиме је омогућена знатно већа међуфазна површина по јединици запремине и већа ефикасност издвојене количине супстанце него код конвенционалних метода.

Класични мембрански процеси се могу поделити у неколико група, у зависности од величине честица које се издвајају и погонске силе између флуидних струја, тако да се у широј примени најчешће користе:

- Микрофилтрација,
- Ултрафилтрација,
- Нанофилтрација,
- Реверзна осмоза,
- Дијализа,
- Електродијализа.

Реверзна осмоза, нанофилтрација, ултрафилтрација и микрофилтрација су процеси код којих је основна компонента полупропустљива мембрана на чијој површини се дешавају све промене. Под дејством притиска кроз њу пролази продукт, чиста вода, а концентровани раствор компонената смеше остаје. Разлика је само у величини једињења која се одвајају (слика 15), као и у радном притиску. Управо та разлика притисака која се јавља назива се трансмембрански притисак.



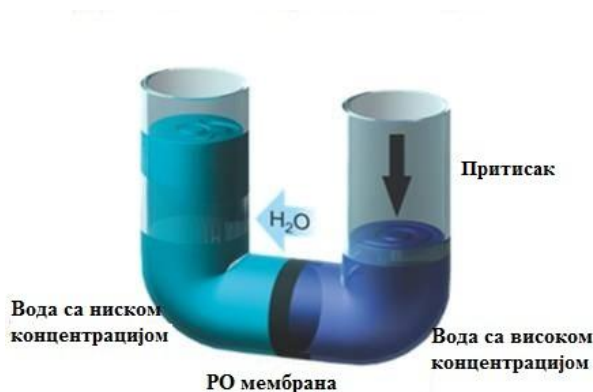
Слика 15 – Величина пора и радни притисак код појединих мембранских процеса

Микрофилтрација се заснива на примени мембрана које имају димензије пора од $0,01 - 10 \mu\text{m}$ и користе се у опсегу разлике притисака од $0,1 - 0,5 \text{ bar}$ - а. Она има највеће величине пора полупропустиве мембране од свих мембранских филтрација и у погледу финоће филтрације попуњава празнину између ултрафилтрације и пешчане филтрације. Важна област примене микрофилтрације је бактериолошка обрада воде и стерилизација уклањањем бактерија из воде.

Ултрафилтрација се користи за уклањање из течности честице од $0,001 - 0,1 \mu\text{m}$. Најчешће се користи за комплетно уклањање полена, алги, вируса, бактерија и органских материја. Ултрафилтрација чува равнотежни однос минералних једињења у води, док се истовремено смањује количина отпадних вода, као и потреба за употребом хемикалија.

Нанофилтрација је процес мембранске филтрације финоће између ултрафилтрације и реверзне осмозе. Користи се за уклањање честица величине од $0,0001 - 0,01 \mu\text{m}$. Нанофилтрација је технологија која је у успону протеклих неколико година. Данас се нанофилтрација најчешће примењује у процесима третмана питке воде као што је омекшавање, уклањање боје, те уклањање микро нечистоћа.

Реверзна осмоза је један од процеса који чини десалинизацију (или уклањање соли из морске воде) могуће. Овај процес користи се за добијање питке воде из слане воде. Поступак користи полупропустљиву мембрану кроз коју пролази чиста вода, а остају соли (слика 16).

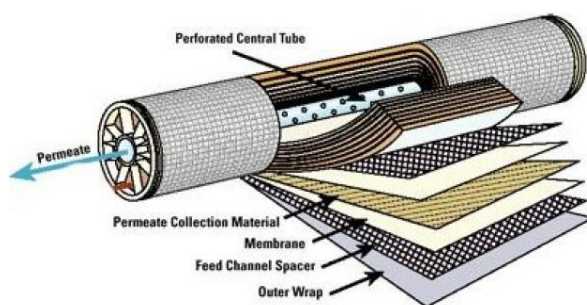


Слика 16 - Сликовити приказ рада РО

Реверзна осмоза је скоро савршен процес филтрирања воде. Овај процес омогућује одстрањивање најситнијих честица из воде. Користи се за проčiшћавање воде и одстрањивање неорганских минерала, соли и осталих нечистоћа у циљу побољшања изгледа, укуса и осталих својстава воде. Тако се добија квалитет воде за пиће који задовољава све стандарде воде за пиће.

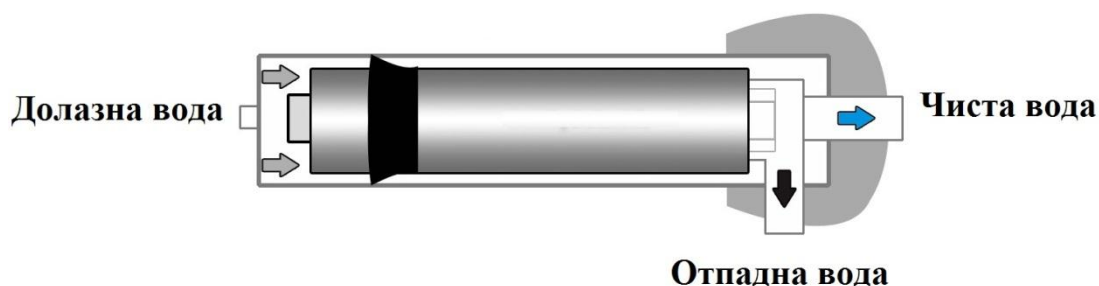
Осмотске мембране које се користе у овом поступку имају толико ситне отворе да кроз њих могу проћи готово само молекули чисте воде, а све нечистоће остају на мембрани и избацују се преко одвода као техничка отпадна вода. Отвор на полупропусној мембрани величине је 0,0001 микрона. Оваквим начином филтрације воде добија се вода за пиће високог квалитета, која се може користити и у медицинске сврхе (вода за бебе).

Шема једног РО модула приказана је на слици 17. Вода струји површином мембране под високим притиском, кроз мембрану пролазе молекули воде који се сакупљају у колектору пермеата који раздваја две мембране и проласком кроз колектор стижу до перфориране централне цеви којом напуштају РО модул. Овај део чисте воде се назива пермеат. Молекули растворених соли се концентришу у делу воде која струји површином мембране и тај део се изводи из модула као тзв. концентрат, који се одбацује. [5]



Слика 17 – Шематски приказ РО модула

Сам поступак добијања воде, којој се одузима до 99% непожељних нечистоћа, се заснива на принципу да се вода под вишим притиском усмери на мембрану, где се одваја чиста вода од контамината (слика 18).



Слика 18 – Једноставан приказ реверзне осмозе

Код дијализе покретачка снага процеса је разлика концентрације, док је код електро - дијализе то електрични потенцијал.

Мембране које се користе за филтрацију водених раствора су порозне и класификоване према неколико критеријума, и то по:

- Врсти и типу материјала:
 1. Органски – полимерни материјали,
 2. Неоргански материјали – керамика и метали.
- Унутрашњој структури материјала:
 1. Симетричне,
 2. Асиметричне.
- Униформности структуре:
 1. Изотропне,
 2. Анизотропне.
- Дизајнираном облику носећег филтрационог материјала:
 1. Плочасти,
 2. Спирално увијени,
 3. Тубуларни,
 4. Капиларни,
 5. Мембрански са шупљим влакнима.
- Електричном наелектрисању:
 1. Позитивне,
 2. Негативне,
 3. Неутралне.
- Режиму сепарације:
 1. Дисконтинуалне,
 2. Континуалне.
- Радним условима (најчешће по вредностима притиска и температуре).

4. Мембрански модули

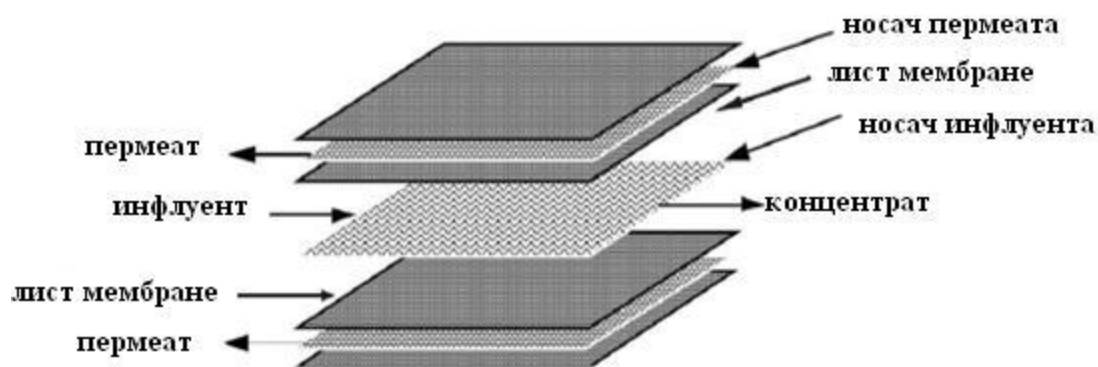
У зависности од области примене мембранског процеса и врсте медијума који се третира развијани су различити типови мембранских модула како би карактеристике примењеног мембранског процеса биле у потпуности искоришћене. Под појмом мембрански модул се подразумевају кућиште мембране и мембрана. [6]

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.

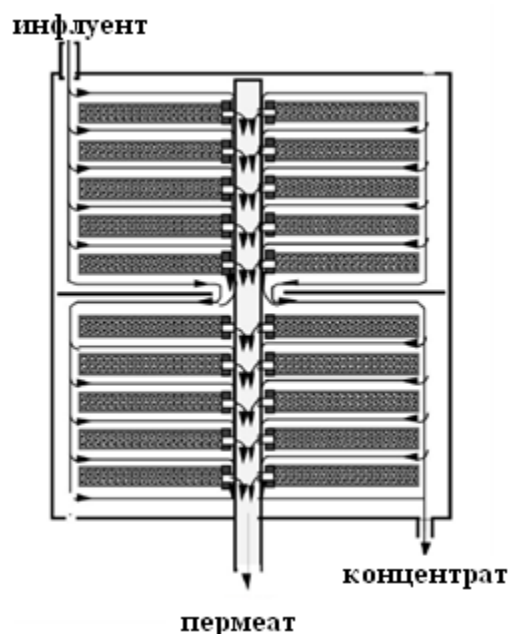
4.1 Плочасти мембрански модули

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 19).



Слика 19 - 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 из система. Постављањем преграда унутар кућишта, између мембрана, се повећава контактна површина воде и мембрана.



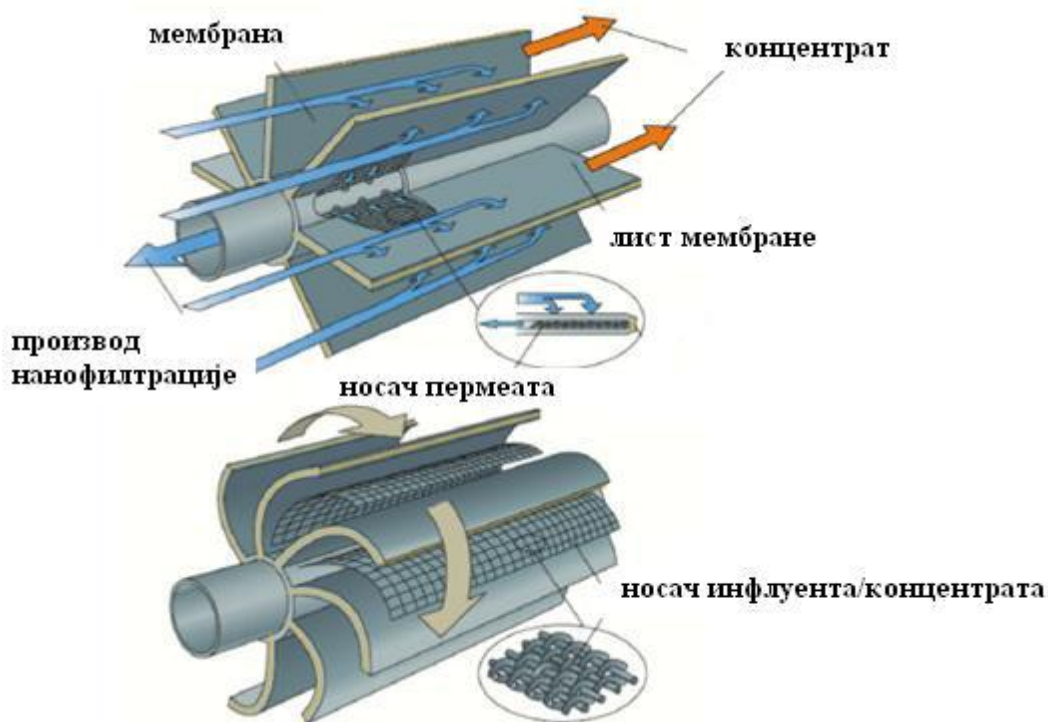
Слика 20 - Шематски приказ плочастог модула са једном преградом

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

Могу се користити у разноврсним индустријама употребом мембрана различитих селективних особина. Најчешћа примена плочастих модула је у фармацеутској и хемијској индустрији. Кућиште и остале компоненте плочастог модула који се користе у фармацеутској индустрији израђене су од нерђајућег челика 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.

4.2 Спирално увијени мембрански модули

Спирално увијени мембрански модули представљају варијацију плочастих модула (слика 21). 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 21 - Делови спирално увијеног мембранског елемента [7]

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 мрежасти 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, с' 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 тангенцијалне филтрације. Код процеса тангенцијалне филтрације (слика 21) 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.

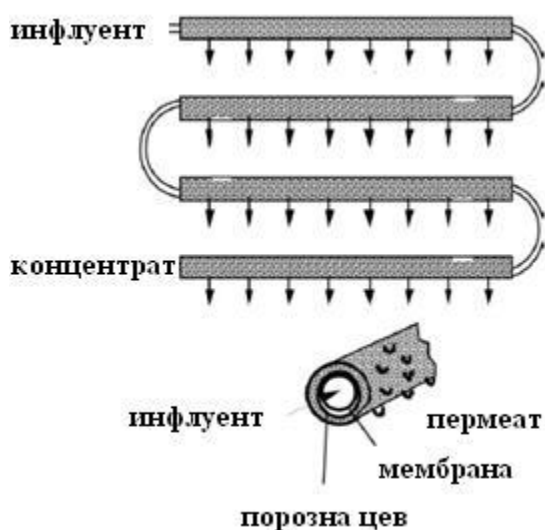


Слика 22 - Спирално увијене мембране

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 23).

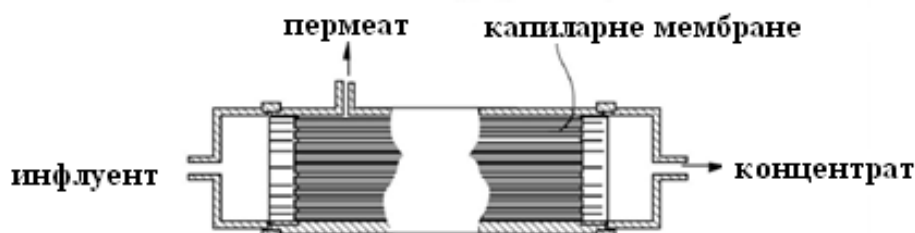


Слика 23 - Шематски приказ процеса филтрације тубуларне мембране

Тубуларне мембране се користе за процесе на ниском притиску, око 4 bar-а. 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 предtretман у процесу реверзне 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.

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 24. Инфлуент улази у капиларе, пермеат се сакупља у спољашњој цеви, а концентрат излази из система супротно од улаза инфлуента (слика 24).



Слика 24 - Шематски приказ капиларног мембранског модула

Код капиларног мембранског модула најбоље је користити мембране које имају асиметричну структуру и селективни слој на унутрашњој страни капила. 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-а. 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. Уобичајни 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.

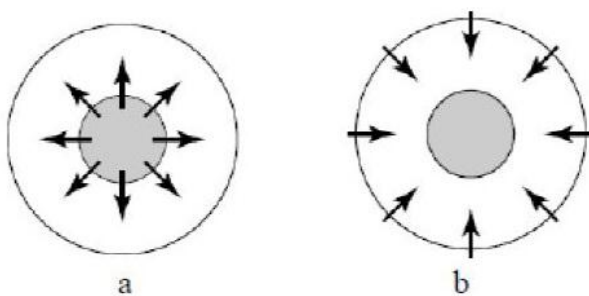
У другој конфигурацији модула са шупљим влакнима влакна су одвојена од кућишта и инсталирају се посебно. Ова конфигурација се инсталира хоризонтално. У трећој конфигурацији се шупља влакна вертикално потапају у базен, где не постоји кућиште, већ када у коју се постављају влакна. Типични комерцијални 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 - а. Иако димензије влакана варирају у зависности од произвођача, неки стандардни параметри шупљих влакана су:

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

Модули са шупљим влакнима могу радити по принципу:

• унутра – споља: инфлуент улази у средиште влакна и филтрира се радијално кроз зид влакна, а пермеат се сакупља са спољашње стране зида (слика 25 а). Проток воде у овом режиму је константан што је погодно ако систем ради под тангенцијалним хидрауличким режимом, али је тада могућност запушења унутрашњости влакана већа.

• споља – унутра: инфлуент улази у влакно са спољашње стране зида, а пермеат се сакупља у средини влакна (слика 25 б). Код овог режима могућност запушења влакана је знатно мања.



Слика 25 - Шематски приказ смера протока флуида кроз зидове шупљих влакана

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

4.6 Проблеми који се јављају при коришћењу мембрана

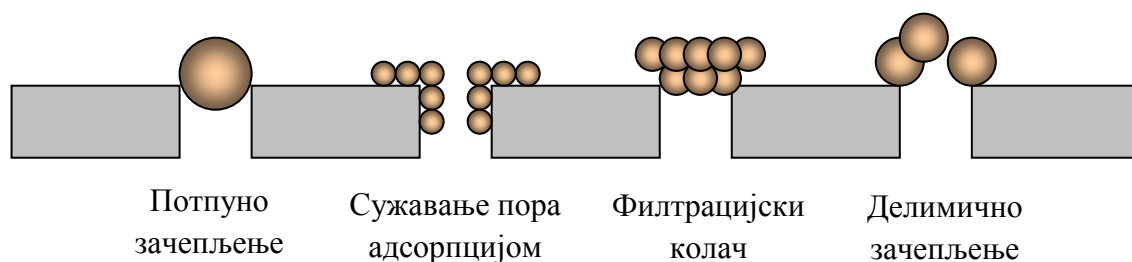
При свом раду мембране подлежу зачепљивању, што се дешава у зависности од квалитета улазне воде. Ниједна мембрана није поштеђена зачепљивања али неке могу без чишћења радити много година, док се код других чишћење спроводи седмично или чак дневно. Будући да код неких мембранских процеса зачепљивање мембрана 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,
- Таложeње 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 26. [8]



Слика 26 - Механизми зачепљивања мембране

Технички проблеми мембранске филтрације углавном се односе на оштећења мембране и потешкоће око достизања нивоа концентрације код филтрације реверзном осмозом.

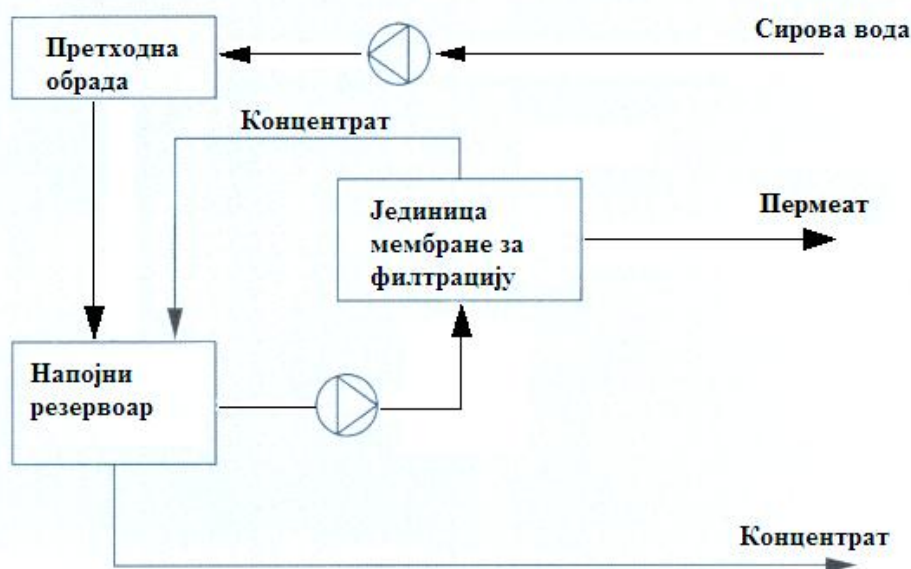
Један од проблема је висок осмотски притисак третиране воде. Када се мембране запрљају процес филтрације се мора зауставити да би се мембране очистиле. То се обично изводи аутоматски на одређени интервал или контролом протока филтрата.

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, с' тим да 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 вредностима код микрофилтрације и ултрафилтрације. Мембране са високом хемијском отпорношћу су актуелне код нанофилтрације и реверзне осмозе.

Уља и релативно крупније честице морају претходно бити уклоњене да би се смањио ризик од оштећења и уништавања мембрана. Слика 27 приказује принцип рада који се захтева за погон обраде уз употребу мембрана.



Слика 27 – Принцип рада мембранских процеса

4.7 Контрола квалитета воде

Квалитет воде у сложенем систему за пречишћавање воде мора се пратити перманент 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 у континуитету помоћу уграђених сензора, мерача или анализатора.

5. Хемијски третман воде

Хемијска припрема воде је термин који се односи на припрему воде у најширем смислу те речи. Хемијски третман налази своју примену у разним гранама индустрије. Различити производни процеси захтевају различит квалитет воде. Вода се у неким процесима користи као основна сировина, док је у другима њен удео јако мали. Негде се користи као носилац енергије, размењивач, а негде се једноставно користи за пиће.

Физичко - хемијска исправност воде често није довољна и потребно је додатно третирати воду. Решења за хемијску припрему воде подразумевају омекшавање воде, уклањање гвожђа и мангана, ослобађање воде примеса као што су нитрити, нитрати, арсен, амонијак... У данашње време постоје разне јоноизмењивачке смоле које се користе и примењују за уклањање готово свих примеса које се могу наћи у води. [9]

Перформансе мембрана реверзне осмозе драстично опадају таложењем нечистоћа из улазне воде на њиховим површинама. Мембранске елементе прљају суспендоване материје, микроорганизми и други талози соли. Ова запрљања повећавају пад притиска дуж система, па тако смањују ефикасност у раду. У циљу ефикасности у раду потребно је бирати потребне хемикалије као што су:

- Коагуланти и флокуланти који уклањају потенцијална запрљања у систему предтретмана непосредно пре уређаја за реверзну осмозу,
- Антискаланти као предтретман улазне воде у РО уређај којима се утиче на каменац и смањује могућност прљања мембрана независно од порекла улазне сирове воде,
- Напојна вода у реверзној осмози често има слободан хлор који неповратно оштећује мембране. Он отиче из градске водоводне мреже или из предтретмана процесом хлорисања, тако да је потребно одрадiti дехлоризацију,
- Успешност рада мембранских система у многоме зависи од ефикасности средстава који се користе за процес чишћења мембрана. Као најчешће коришћена средства јављају се хлороводонична киселина (HCl), натријум хипохлорит (NaOCl)...
- Ефективна контрола раста и развоја микробиолошких популација.

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. [10]



Слика 28 - 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 непропусног 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. године основано је шест постројења за десалинизацију са максималним капацитетом од 950 000 m³/dan. Количина десалинизоване произведене воде у 1993. години била 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. [11]



Слика 29 – 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. Систем за чишћење је конструисан тако да се може користити и за чишћење филтера код ултрафилтрације и РО мембрана.

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 удување ваздуха за отклањање нечистоћа како би се побољшале перформансе и обезбедио дужи радни век,
- Једноставни, вертикални, модуларни дизајн омогућава ниску цену и лаку 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 монтира на конструкцију од нерђајућег челика. Материјал конструкције је SS 304L, док су његове димензије 5 x 2,2 x 2,2 m.

Груба филтрација са првим резервоаром

Пре ултрафилтрације и реверзне осмозе вода прво пролази кроз груби, мрежаста филтерски систем који се састоји од два филтера, при чему 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 30 приказани су елементи грубог филтера.



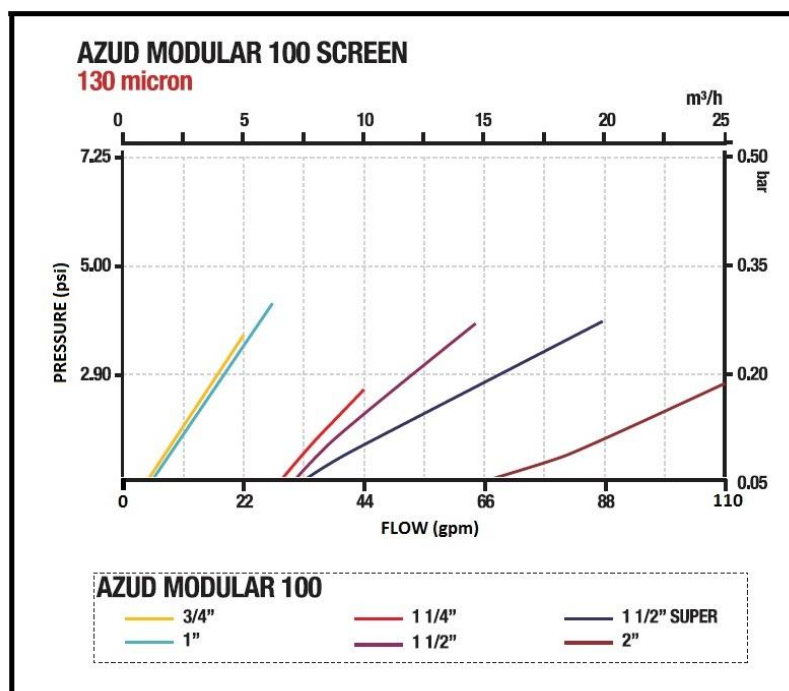
Слика 30 – Елементи филтера AZUD (1 - прикључак за мерење притиска, 2 – прикључак на систем, 3 – кућиште филтера, 4 – модуларни филтер, 5 – површина за филтрацију, 6 – помоћни прикључак) [13]

- 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 31 – 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

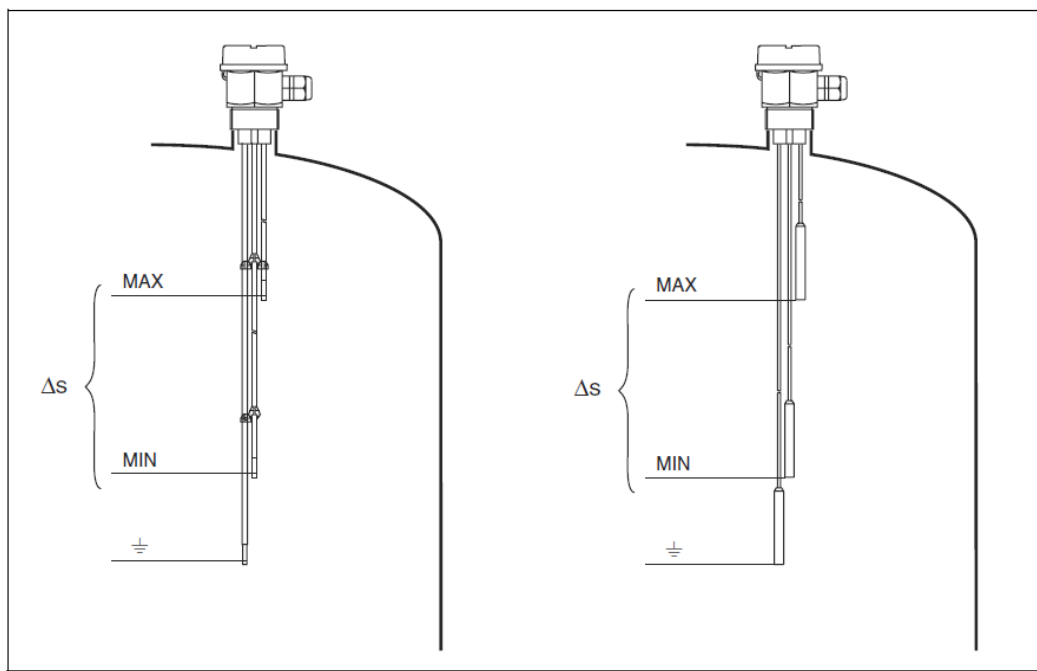
Предности коришћења овог филтера су:

- Висока површина филтрације,
- Лако руковање и одржавање,
- Мали губици,
- Једноставна инсталација,
- Поседовање манометарског прикључка како би се избегли велики 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 на основу разлике проводљивости дефинише ниво воде у резервоару. На слици 32 је дат пример рада система за контролу нивоа воде.



Слика 32 – Принцип рада система за контролу нивоа воде

- Тип резервоара: правоугаоног облика, затворен
- Димензије: 1 x 1 x 1,5 m
- Прикључак : 1 "BSP
- Материјал: полипропилен

Конкретан пример система за контролу нивоа воде воде дат је на слици 33.

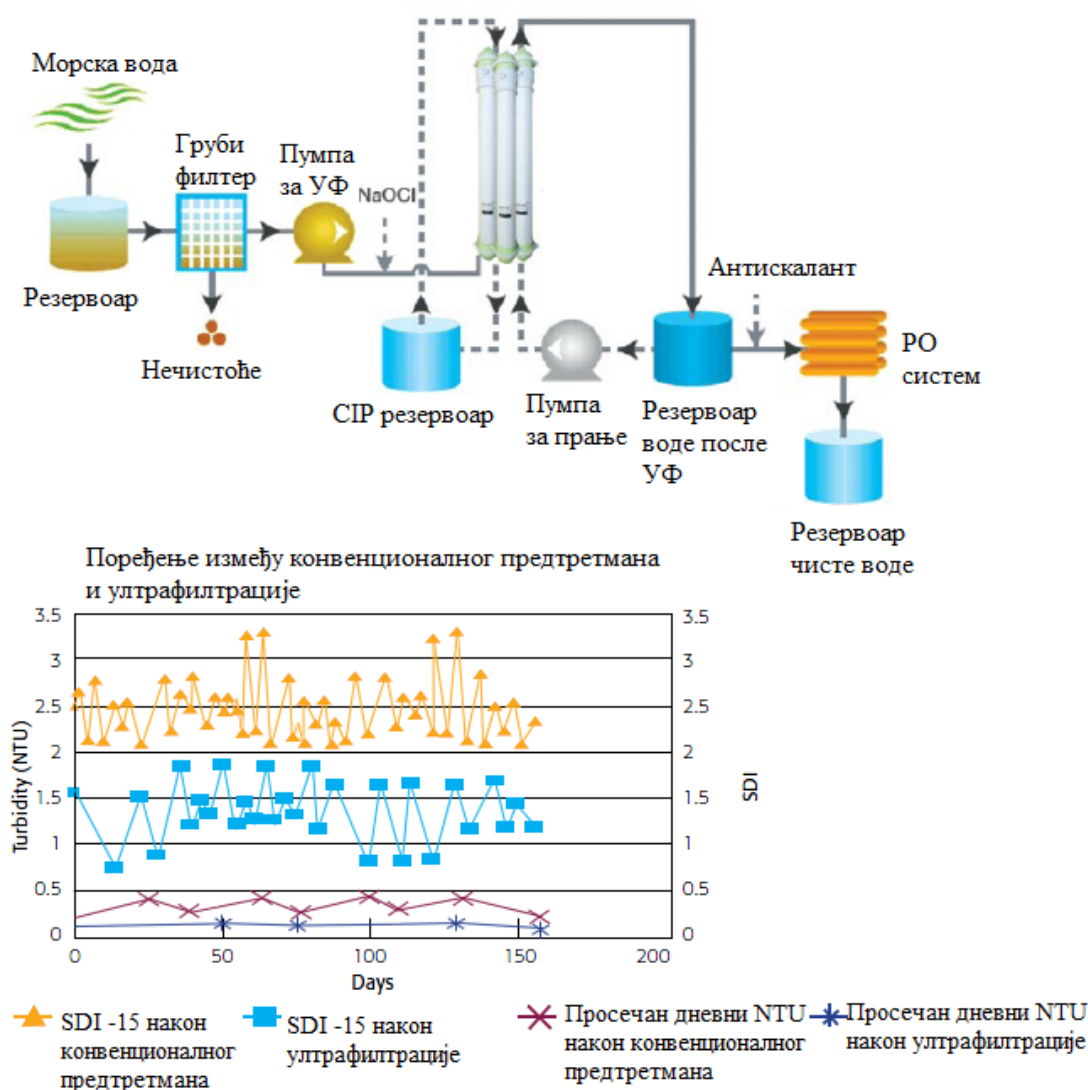


Слика 33 - Level switch FTW 31

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 34 је приказано поређење квалитета воде добијене након конвенционалног поступка пречишћавања воде као предтретмана и ультрафилтрације.

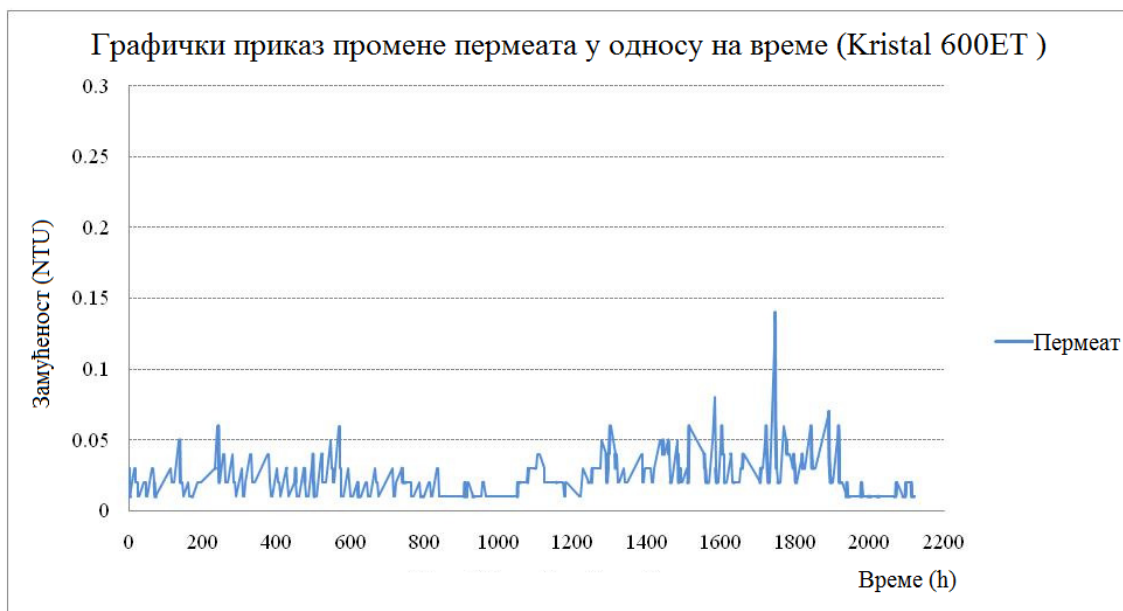
Ультрафилтрација је мембрански процес који се користи за отклањање честица веће молекуле масе, вируса и бактерија, као и мање замућености. Квалитет пермеата се не мења у зависности од квалитета долазеће воде. Поготово када замућеност воде достигне високе вредности, степен ультрафилтрације остаје константан,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



Слика 34 – Квалитет воде након конвенционалног предтретмана и ультрафилтрације

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

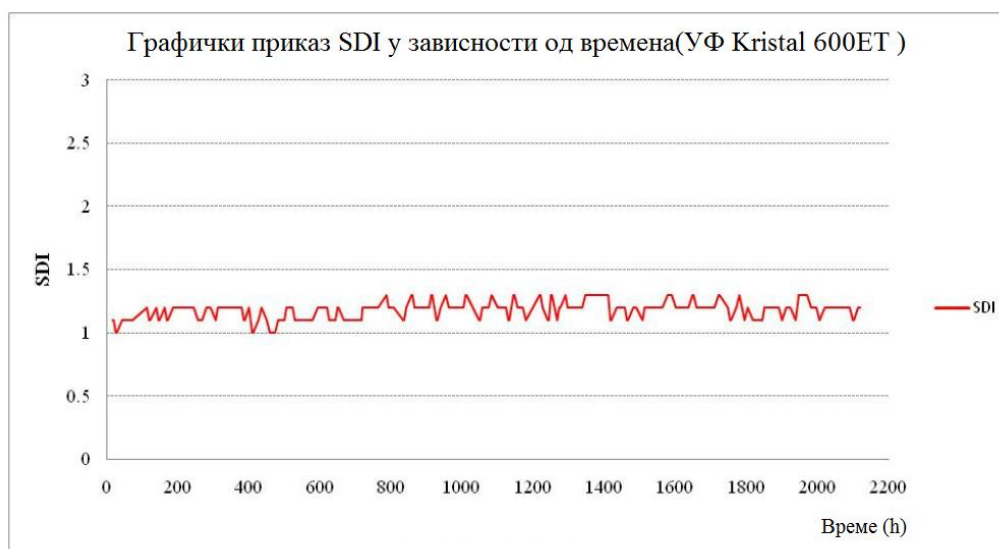
- Смањење замућености (зависност замућености пермеата у односу на време приказан је на дијаграму 2)



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 SDI-а у односу на време

Kristal 600ET

Модул Kristal 600ET је инсталиран за процес ултрафилтрације. Модул који је уграђен у систем приказан је на слици 35. Његова спецификација је:

- Структура: асиметрично
- Базни материјал: измењен полиетерсулфон
- Произвођач: Hifluk
- Молекуларна тежина : 120 000 далтона
- Димензије: 216 x 850 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 [14]



Слика 35 - 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 (слика 36). Пумпа је фреквентно регулисана како би се обезбедило одржавање сталног протока воде.

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 [15]



Слика 36 – Пумпа за ултрафилтрацију

Пумпа за прање УФ модула

Чишћење УФ модула се врши једном пумпом. Пумпа је опремљена свим потребним вентилима и заштитним системом од рада на суво (слика 37). Пумпа је фреквентно регулисана како би се обезбедило одржавање сталног протока воде.

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 [15]



Слика 37 - 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: 1 x 1 x 1,5 m
- Прикључак : 1 "BSP
- Материјал: полипропилен

Дозирање антискаланта

Систем поседује јединицу за дозирање антискаланта да би се спречило таложење нечистоћа у РО модулу. Комплетан систем дозирања са резервоаром је постављен на носећу конструкцију (слика 38). За овакав систем потребна су два резервоара, због потребне количине антискаланта. Сваки резервоар поседује своју пумпу за дозирање антискаланта.



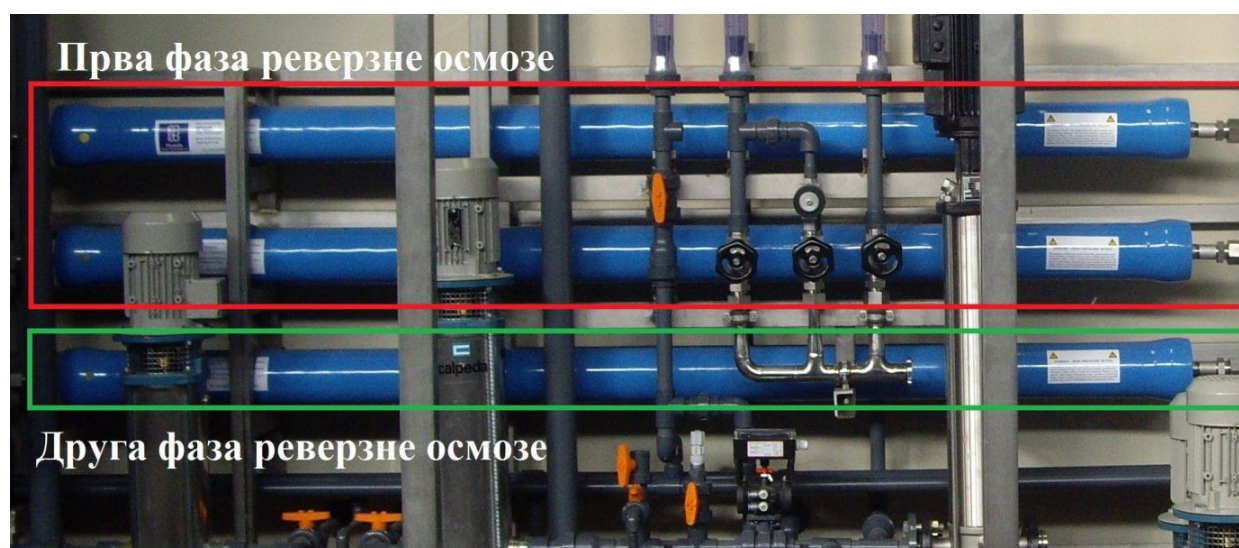
Слика 38 – Резервоари за антискалант

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%.

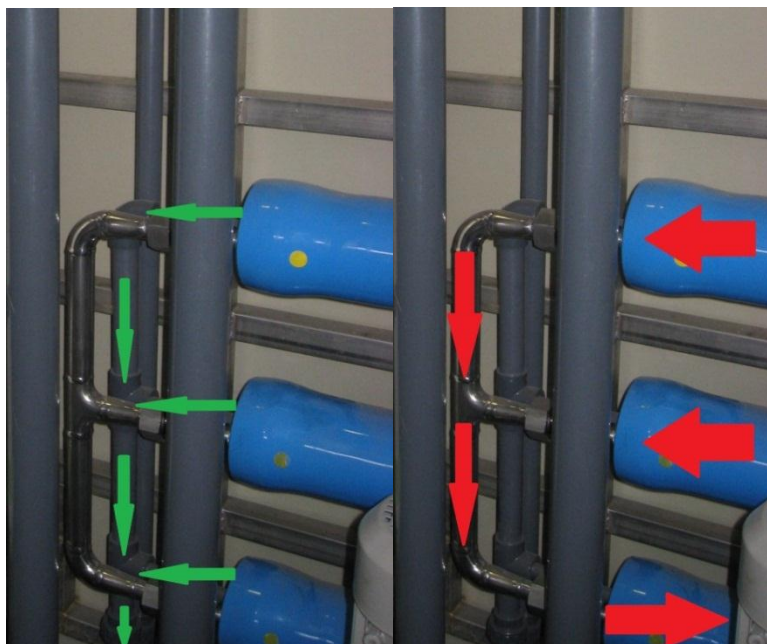
Због веома високог салинитета (ТДС морске воде износи 11 700) и врло високе концентрације SO_4 , РО систем је пројектован тако да се састоји из две битне фазе.

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



Слика 39 – 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 40 црвеном стрелицом је приказан смер концентрата, док је зеленом стрелицом приказан смер пермеата. Након реверзне осмозе пермеат одлази у последњи резервоар за складиштење пречишћене воде. Концентрат се дели на два дела: један део се враћа на почетак РО процеса и поново пролази кроз модуле, док се други, већи део концентрата избацује помоћу дренажног система.



Слика 40 – 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 на излазу: 1 m³/h
- Радна температура: 25 °C [16]

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 7.

Табела 7 - Спецификације мембране FILMTEC BW30-4040

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

Детаљне карактеристике обе фазе процеса дате су у табели 8, док су у табели 9 приказани елементи који се отклањају, као и њихове количине.

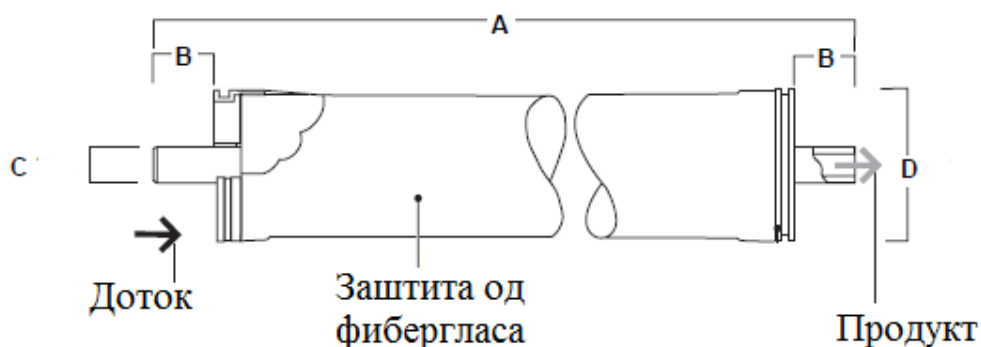
Табела 8 - Карактеристике обе фазе процеса

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

Табела 9 - 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	0	0	0	0	0	0	0
K	52	52	65,44	96,02	114,31	0,87	1,54	1,04
Na	3 095	3 097,28	3 898,88	5 722,08	6 813,22	48,89	84,48	57,97
Mg	195	195	246,06	362,02	431,72	1,17	1,91	1,36
Ca	740	740	933,79	1 373,96	1 638,51	4,3	7,1	5,01
Sr	0	0	0	0	0	0	0	0
Ba	0	0	0	0	0	0	0	0
CO ₃	2,85	2,85	4,55	9,02	12,27	0	0	0
HCO ₃	175	175	218,2	315,25	372,12	3,41	5,65	3,98
NO ₃	0	0	0	0	0	0	0	0
Cl	4 229	4 229	5 322,95	7 811,26	9 300,08	68,47	118,98	81,35
F	2	2	2,52	3,69	4,39	0,04	0,07	0,05
SO ₄	3 200	3 200	4 036,79	5 937,73	7 079,77	22,64	37,13	26,34
SiO ₂	10	10	12,61	18,54	22,11	0,08	0,14	0,1
Boron	0	0	0	0	0	0	0	0
CO ₂	3,19	3,19	3,63	5,22	6,3	3,82	5,27	4,19
TDS	11 700,86	11 703,14	14 741,8	21 649,57	25 788,5	149,88	256,99	177,2
pH	7,6	7,6	7,61	7,56	7,52	6,11	6,17	6,13

Димензије једне мембране приказане су на слици 41 и у табели 10.



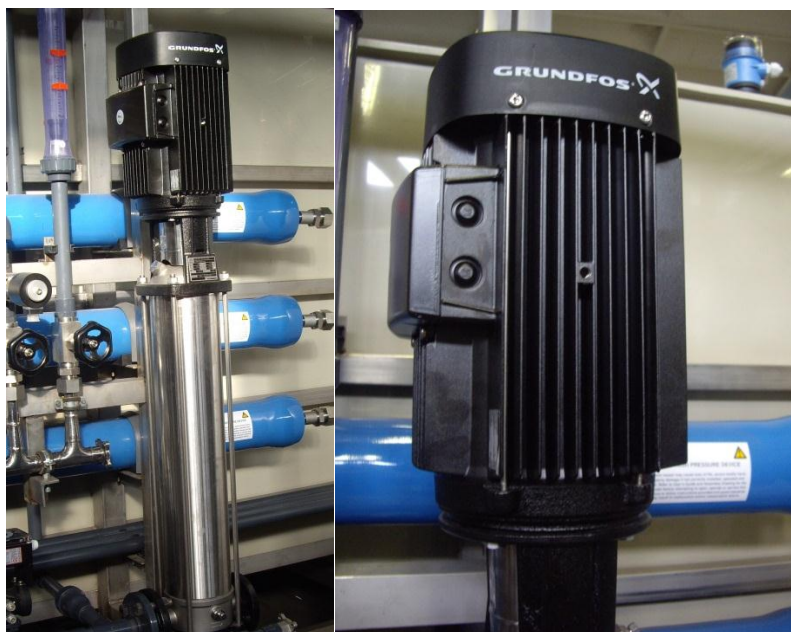
Слика 41 – Димензије мембране

Табела 10 - 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 42). 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.



Слика 42 – Високо притисна пумпа Grundfos

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 [17]

Пумпа за РО модуле

Покретање РО модула врши се помоћу високо притисне пумпе (слика 43). 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.



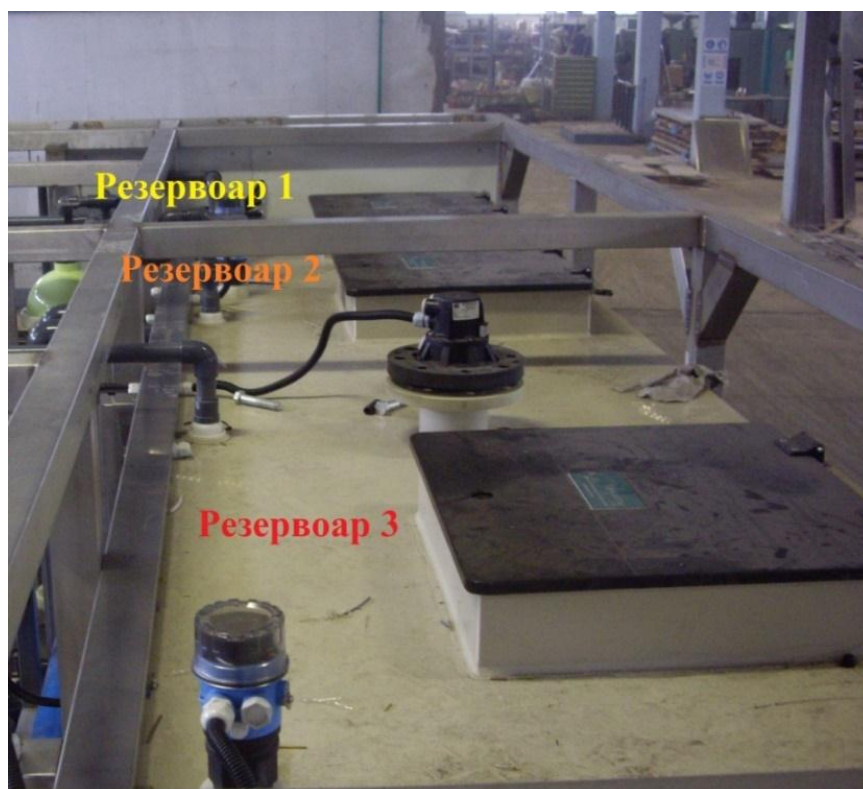
Слика 43 – Пумпа за РО мембране

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

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.



Слика 44 – Резервоари као саставни део постројења
(1 – резервоар након грубог филтера, 2 – резервоар након ултрафилтрације,
3 – резервоар за пречишћену воду)

Карактеристике резервоара:

- Број резервоара: 1
- Тип резервоара: правоугаоног облика, затворен
- Димензије: 2 x 1 x 1,5 m
- Прикључак: 1 "BSP
- Материјал: полипропилен

Корекција pH вредности

Систем поседује и јединице за корекцију pH вредности како би се њена вредност прилагодила pH вредности прописаној за пијаћу воду. Комплетан систем за дозирање са резервоаром поставља се на носећу конструкцију.

На слици 45 је приказан уређај за мерење pH вредности који се користи у систему (Liquisys M CPM223/253).



Слика 45 – Уређај за контролу pH 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

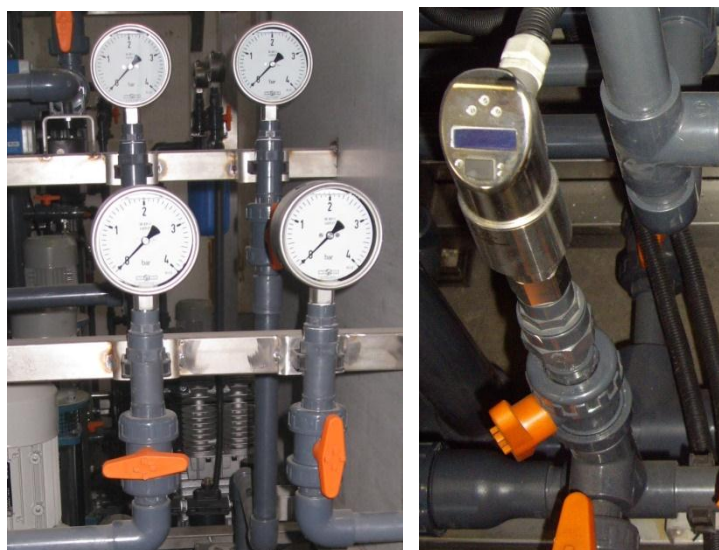
Мерачи протока су постављени на више места у систему како би се пратила промена протока. У систем су укључени механички и дигитални мерачи. Механички (слика 46 лево) омогућавају оператеру да визуелним читавањем прати промену протока, док дигитални (слика 46 десно) служе да детектује евентуалну промену протока и регулацијом пумпе регулише проток.



Слика 46 – Механички и дигитални мерачи протока

Мерачи притиска и предајници за притисак

Мерачи притиска (слика 47 лево) омогућавају праћење промене притиска у систему и на тај начин спречавају да дође до евентуалног преоптерећења. Предајници за притисак (слика 47 десно) омогућавају континуално праћење промене притиска на основу којег се сигнализира у контролном кућишту ако дође до искакања из граничне вредности.



Слика 47 – 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 48).



Слика 48 – Славина за узорковање

Чишћење система

Јединица за чишћење је пројектована тако да се користи у два процеса чишћења (чишћење УФ и РО модула). Пумпе и опрема за дозирање су постављени на носећу конструкцију (слика 49).



Слика 49 – Резервоар за прање (CIP) и пумпе за прање система

Контролно кућиште

Цео систем је аутоматски контролисан преко контролног кућишта (слика 50). 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 50 – *Контролно кућиште*

6.2 Додатне карактеристике система

Цео систем је дизајниран тако да произведе 1 m³/h без прекидања процеса. Овим капацитетом систем може да обезбеди воду за 150 особа (Европска норма је 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 TDS-ом (укупне растворене чврсте материје) од 11 700 mg/l. Међутим постројење може потпуно исправно да ради са TDS-ом између 9 000 и 12 000 mg/l. Уколико је вредност TDS-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 °C. Такође би требало да се обезбеди систем за прикупљање и одстрањивање концентрата (минимални пречник цеви $d=63\text{ mm}$). Цев преко које се одстрањује концентрат дата је на слици 51. Укупна инсталисана снага за овај систем је 12,5 kW.



Слика 51 – Дренажна цев

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 1 000 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.

На сликама 52 и 53 приказан је изглед целог постројења, потпуно завршеног.



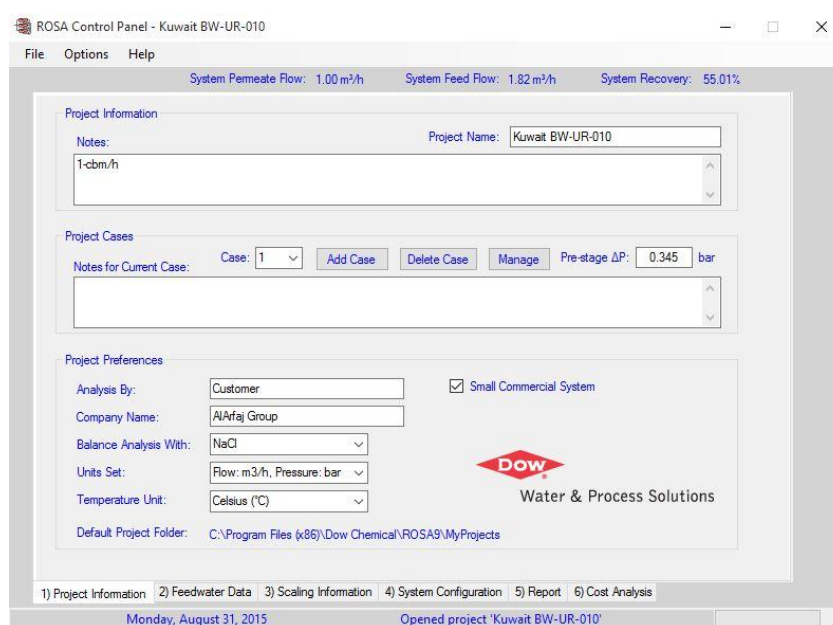
Слика 52 – *Постројење ознаке BW-UR-010*



Слика 53 – *Постројење ознаке BW-UR-010*

7. Софтверски прорачун постројења

Током израде прорачуна коришћен је програм ROSA (Reverse Osmosis System Analysis). ROSA је програмски алат који се користи за процену стабилности перформанси одређеног РО система под теоријским или стварним условима. Ове перформансе су базиране на номиналној спецификацији перформанси за FILMTEC™ елементе који се користе у пројектованом систему. [18] На слици 54 је дат изглед почетног екрана када се стартује програм.



Слика 54 – Почетни екран програма ROSA

Једино што је потребно подесити чим се стартује програм јесу јединице у којима ће се радити. То се мења у прозору Units Set и оно што је потребно изабрати јесте да јединица за проток буде m^3/h , а за притисак bar.

Након стартовања програма и избора јединица уносе се почетни подаци. Први део почетних података представљају карактеристике сирове воде које се добијају од технолога. Ове вредности директно су измерене на месту постављања система у Кувајту. На основу тих података аутоматски се добија вредност салинитета испитане морске воде и он, у овом случају, износи 11 700 mg/l. Вредности добијених података приказани су на слици 55.

ROSA Control Panel - Kuwait BW-UR-010

File Options Help

System Pemeate Flow: 1.00 m³/h System Feed Flow: 1.82 m³/h System Recovery: 55.01%

Water Type: Well Water SDI < 3

Feed Percentage: 100.0 (%) Feed Number: 1 Feed Streams: 1

Open Water Profile Library

Ions /	mg/l	ppm CaCO ₃	meq/l	Total Conc.(mg/l)
Ammonium (NH ₄ ⁺ + NH ₃)	0	0.000	0.000	0.00
Barium (Ba)	0	0.000	0.000	0.00
Bicarbonate (HCO ₃)	174.954	143.393	2.868	174.95
Boron (B)	0	n.a.	n.a.	n.a.
Calcium (Ca)	740.194	1846.791	36.936	740.19
Carbonate (CO ₃)	2.852	4.753	0.095	2.85
Chloride (Cl)	4227.891	5962.670	119.253	4227.89
Fluoride (F)	2	5.263	0.105	2.00
Magnesium (Mg)	195.051	802.283	16.046	195.05
Nitrate (NO ₃)	0	0.000	0.000	0.00
Potassium (K)	52.014	66.510	1.330	52.01
Silica (SiO ₂)	10.003	n.a.	n.a.	10.00
Sodium (Na)	3095.812	6732.954	134.659	3095.81
Strontium (Sr)	0	0.000	0.000	0.00
Sulfate (SO ₄)	3199.161	3332.459	66.649	3199.16

System Temp: 25.0 °C System pH: 7.60

Save Water Profile to Library

Note: Any changes in raw feedwater composition will affect scaling calculations. Please review scaling calculations.

1) Project Information 2) Feedwater Data 3) Scaling Information 4) System Configuration 5) Report 6) Cost Analysis

Monday, August 31, 2015 Opened project 'Kuwait BW-UR-010'

Specify Individual Solutes

Total Dissolved Solids: 11699.9 mg/l

Feed Parameters

Temperature: 25.0 °C

Flow Rate: 1.82 m³/h

pH: 7.6

Charge Balance

Cations: 188.97

Anions: 188.97

Balance: 0.00

Add Sodium

Add Calcium

Adjust Cations

Adjust Anions

Adjust All Ions

Слика 55 - Почетни подаци измерени на месту постављања система

У овом делу програма потребно је још унети температуру воде као и рН вредност (слика 56). Чисто ради провере потребно је обратити пажњу на баланс између анјона и катјона у анализираној води. Вредност баланса треба да буду 0 или приближно 0. Уколико је вредност већа значи да је дошло до грешке при анализи или при уношењу података у софтвер. Та грешка може се исправити кликом на поља Adjust Anions или Adjust Cations.

ROSA Control Panel - Kuwait BW-UR-010

File Options Help

System Pemeate Flow: 1.00 m³/h System Feed Flow: 1.82 m³/h System Recovery: 55.01%

Water Type: Well Water SDI < 3

Feed Percentage: 100.0 (%) Feed Number: 1 Feed Streams: 1

Open Water Profile Library

Ions /	mg/l	ppm CaCO ₃	meq/l	Total Conc.(mg/l)
Ammonium (NH ₄ ⁺ + NH ₃)	0	0.000	0.000	0.00
Barium (Ba)	0	0.000	0.000	0.00
Bicarbonate (HCO ₃)	174.954	143.393	2.868	174.95
Boron (B)	0	n.a.	n.a.	n.a.
Calcium (Ca)	740.194	1846.791	36.936	740.19
Carbonate (CO ₃)	2.852	4.753	0.095	2.85
Chloride (Cl)	4227.891	5962.670	119.253	4227.89
Fluoride (F)	2	5.263	0.105	2.00
Magnesium (Mg)	195.051	802.283	16.046	195.05
Nitrate (NO ₃)	0	0.000	0.000	0.00
Potassium (K)	52.014	66.510	1.330	52.01
Silica (SiO ₂)	10.003	n.a.	n.a.	10.00
Sodium (Na)	3095.812	6732.954	134.659	3095.81
Strontium (Sr)	0	0.000	0.000	0.00
Sulfate (SO ₄)	3199.161	3332.459	66.649	3199.16

System Temp: 25.0 °C System pH: 7.60

Save Water Profile to Library

Note: Any changes in raw feedwater composition will affect scaling calculations. Please review scaling calculations.

1) Project Information 2) Feedwater Data 3) Scaling Information 4) System Configuration 5) Report 6) Cost Analysis

Monday, August 31, 2015 Opened project 'Kuwait BW-UR-010'

Specify Individual Solutes

Total Dissolved Solids: 11699.9 mg/l

Feed Parameters

Temperature: 25.0 °C

Flow Rate: 1.82 m³/h

pH: 7.6

Charge Balance

Cations: 188.97

Anions: 188.97

Balance: 0.00

Add Sodium

Add Calcium

Adjust Cations

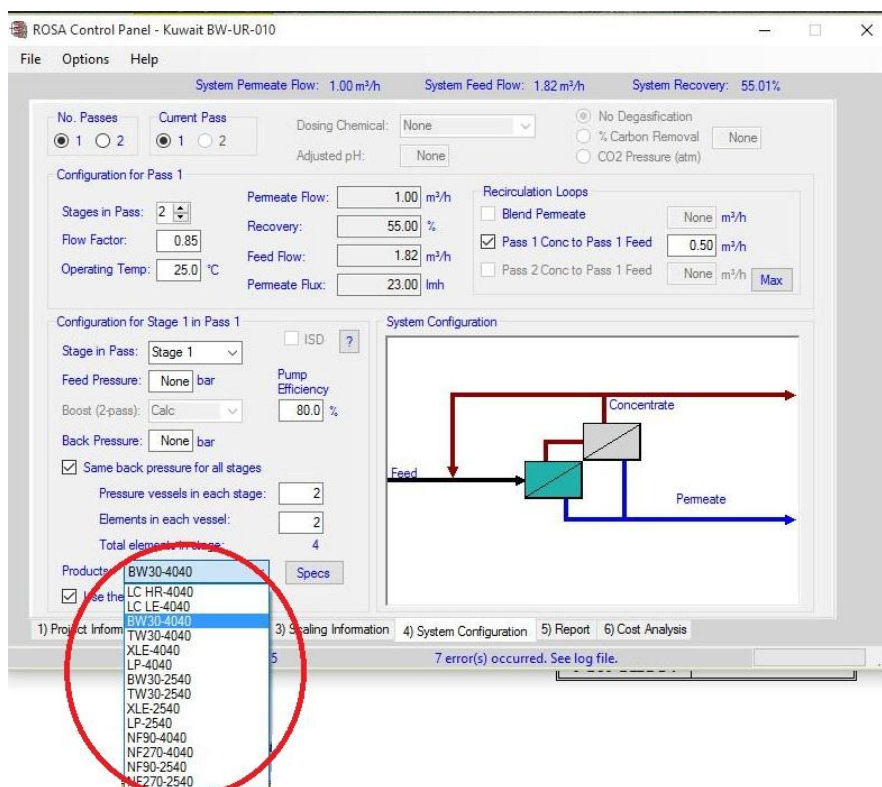
Adjust Anions

Adjust All Ions

Слика 56 – Уношење температуре и рН вредности сирове воде

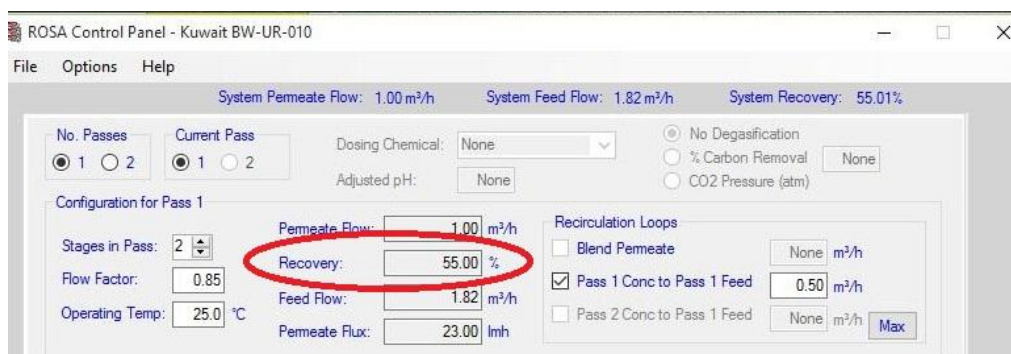
Након уношења почетних података прелази се на део везан за мембране и њихово везивање у систему.

Потребно је одабрати тип мембране из понуђених опција мембрана фирме FILMTEC™. У овом случају тип мембране који је одабран је BW 30-4040. На слици 57 је приказан део прозора у коме се бира тип мембране.



Слика 57 – Одабир типа мембране

Степен искоришћења система зависи од салинитета сирове воде. Што је вода сланија то је степен искоришћења мањи. За салинитет од 9 000 - 11 000 mg/l степен искоришћења иде од 55 – 75%. У овом случају, за салинитет од 11 700 mg/l степен искоришћења износи 55% (слика 58).



Слика 58 – Степен искоришћења система

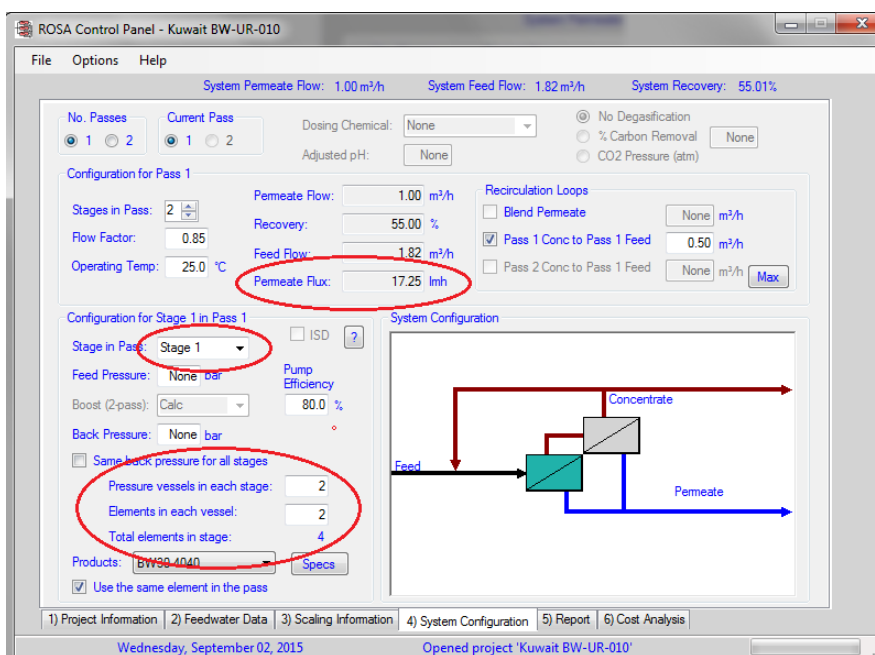
У овом делу програма веома је битно одабрати потребан број РО мембрана у модула, број РО модула, као и на који начин ће модули бити повезани како би се од сирове воде добила вода за пиће задовољавајућег квалитета.

Почиње се од броја stage – а, тј. броја пролаза сирове воде. С' обзиром да се ради о јако сланој сировој води, где се из концентрата може издвојити још мало пермеата, потребно је два stage – а (слика 59). Први stage представља пролазак сирове воде, а други stage је пролазак само концентрата добијеног из прве фазе.



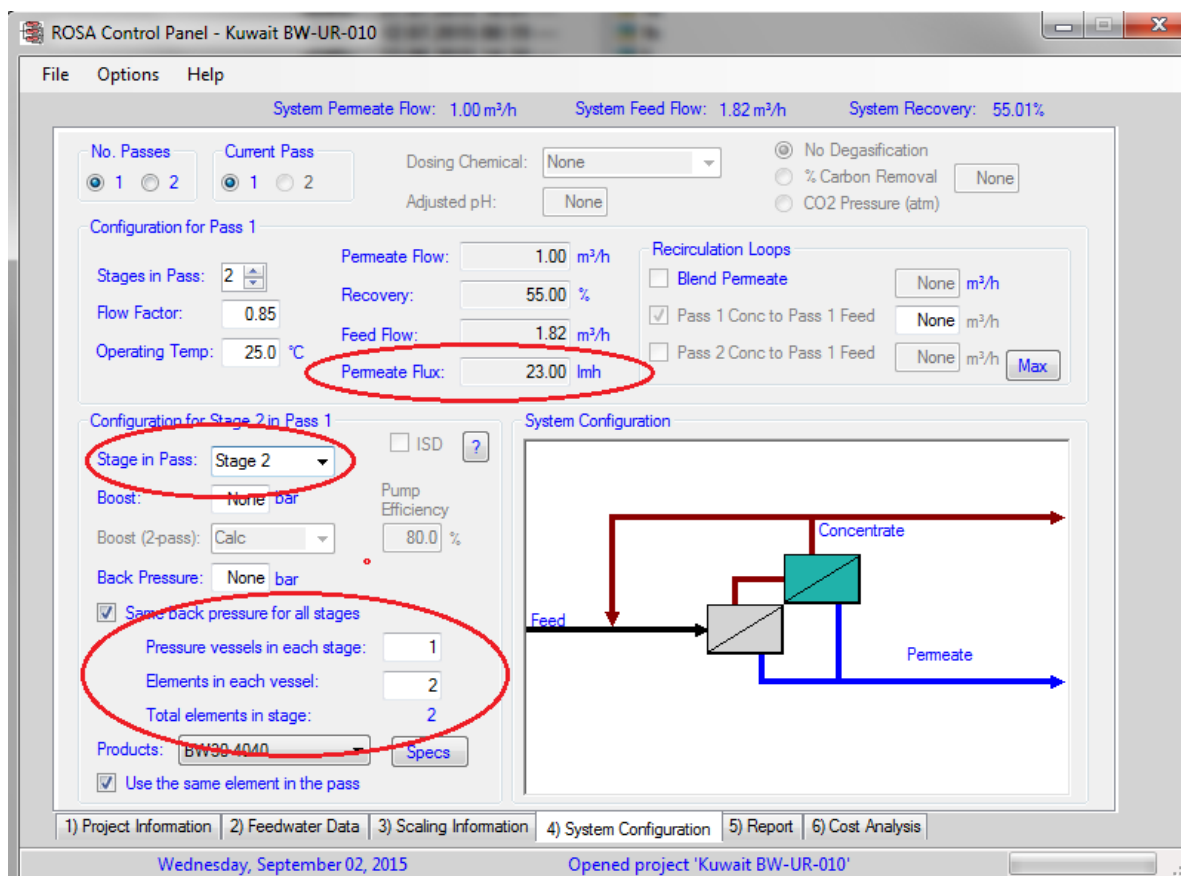
Слика 59 – Уношење броја пролаза

Након одабира пролаза прелази се на решавање броја мембрана и модула за сваки пролаз. У оквиру поља Stage in Pass бира се Stage 1 (слика 58). Колико ће бити мембрана и модула зависи од флукса пермеата (Flux permeat). Флукс за слану воду иде од 15 – 30, а за слатку преко 30. Када се за број модула и број мембрана по модулу упише вредност 2, вредност флукса ће бити у прописаној граници (слика 60).



Слика 60 – Stage 1

У оквиру поља Stage in Pass бира се Stage 2 (слика 61). Иста прича важи, с' тим да ће сада бити потребно две мембране у једном модулу. Те вредности се уносе у поља и проверава се вредност флукса. Вредност флукса је и у том случају у прописаној граници што значи да је изабран добар број мембрана и модула.



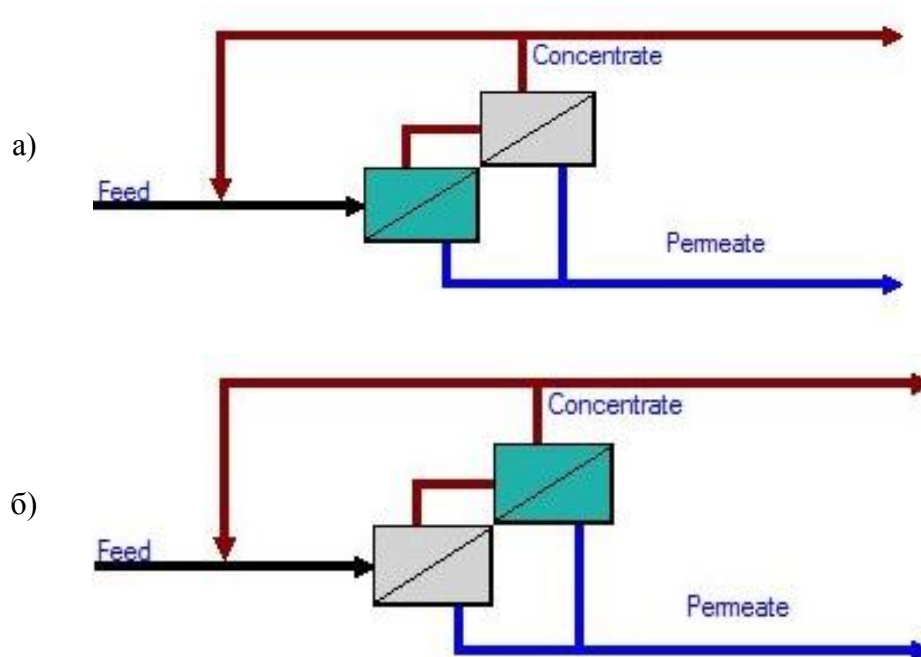
Слика 61 – Stage 2

Уколико би се вредност за број мембрана и модула променила и вредност флукса се мења.

Након уношења свих потребних параметара програм аутоматски конфигурише најбољи тј. најефикаснији начин везивања поменутих модула, како би се добила вода задовољавајућег квалитета.

Програмом је добијено да се прва фаза процеса састоји од паралелног пролаза воде кроз два модула у којима се налазе по две РО мембране. Након прве фазе пермеат одлази у резервоар за пречишћену воду, док концентрат одлази у трећи модул. Пролазак концентрата кроз трећи модул представља другу фазу процеса. Он тада пролази кроз две РО мембране. Ради повећања ефикасности процеса један део концентрата рециркулише поново кроз РО модуле, а други део се одводи дренажом ван система. Пермеат добијен у овој фази одлази, такође, у резервоар за пречишћену воду.

На слици 62 је дат шематски приказ везивања модула у оба stage - а, као и кретања пермеата и концентрата, при чему зелени правоугаоник представља stage који је селектован.



Слика 62 – Прва (а) и друга (б) фаза процеса

Као излазни подаци добијају се и вредности елемената који су се издвојили приликом процеса, тј. карактеристике воде на излазу из мембрана (слика 63).

Name	Feed	Pass Streams (mg/l as ion)				
		Concentrate		Permeate		
		Stage 1	Stage 2	Stage 1	Stage 2	Total
NH ₄ ⁺ + NH ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	52.01	96.05	114.34	0.87	1.50	1.03
Na	3095.81	5719.70	6810.22	49.16	82.08	57.55
Mg	195.05	362.14	431.83	1.18	1.85	1.35
Ca	740.19	1374.41	1638.93	4.32	6.90	4.98
Sr	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
CO ₃	2.85	9.01	12.27	0.00	0.00	0.00
HCO ₃	174.95	315.19	372.04	3.43	5.49	3.96
NO ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	4227.89	7809.67	9297.98	68.85	115.63	80.78
F	2.00	3.69	4.39	0.04	0.07	0.05
SO ₄	3199.16	5936.55	7077.92	22.76	36.07	26.16
SiO ₂	10.00	18.54	22.09	0.10	0.17	0.11
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	3.19	5.21	6.30	3.82	5.28	4.19
TDS	11699.94	21644.94	25782.01	150.72	249.76	175.97
pH	7.60	7.56	7.52	6.11	6.16	6.13

Слика 63 – Карактеристике воде на излазу

8. Економски прорачун постројења

Како би се одradio економски прорачун потребно је установити укупну цену читавог постројења. Цене главних компоненти постројења приказане су у табели 11, док је у табели 12 дата укупна цена свих помоћних компонената (вентили, цеви, кривине, рачве, сужења, проширења...).

Табела 11 – *Цене главних компоненти постројења*

Назив	Количина	Јединична цена (€)	Укупна цена (€)
Мерач протока	8	99,6	796,8
Манометер	10	79,9	799
Груби филтер	2	21,61	43,22
Резервоар, 6 m ³	1	890	890
Пумпа MXV4 32-414 P=0,55kW, 1450 min ⁻¹ Calpeda	1	940	940
Предајник за притисак	3	288	864
Мерач протока, дигитални	1	652,4	652,4
УФ филтер	1	1 428	1 428
Компресор RICO, Q=10 m ³ /h, p=10 bar	1	1 890	1 890
Пумпа MXV4 25-205 P=0,75kW, 2900 min ⁻¹ Calpeda	1	590	590
Пумпа MXV4 25-207 P=0,55kW 1450 min ⁻¹ Calpeda	1	650	650
Високо притисна пумпа Grundfos, Q=2,32 m ³ /h p=2,5 bar	1	1 360	1 360
Резервоар за CIP, 500 l	1	200	200
Пумпа MXV4 32-410 P=0,55kW, 1450 min ⁻¹ Calpeda	1	770	770
Пумпа MXV4 32-412 P=0,55kW, 1450 min ⁻¹ Calpeda	1	901	901
Филтер са кесом	1	100	100
Поклопци	3	30	90
РО мембране	3	1 073,4	3 220,2
Пумпе ProMinent ConceptPlus 0213 NPB Q=1,2 m ³ /h, p=1,5 bar	6	435	2 610
Резервоар за NaOCl, 100 l	1	60	60
Резервоар за антискалант, 100 l	2	60	120
Резервоар за HCl, 100 l	1	60	60
Резервоар за NaOH, 100 l	2	60	120
Level switch	4	358	1 432
Мерач pH вредности и температуре	1	2 533,75	2 533,75
Филтер за ваздух Pi 0146	3	11	33
Конструкција од нерђајућег челика, 1,3 €/kg	1	1 607	1 607
Контролно кућиште	1	1 125	1 125
УКУПНО:			25 885,37

Табела 12 – Цене помоћних компоненти

Назив	Количина
Куглични вентил D=32	35
Куглични вентил D=20	20
Рачва 90° D=20	3
Рачва 90° D=32	41
Рачва 90° D=63	10
Метална рачва 90° D=32	9
Кривина 90° D=20	7
Кривина 90° D=32	107
Кривина 90° D=63	3
Метална кривина 90° D=32	9
Неповратни вентил	24
Игличаст вентил	3
Отпусни вентил	2
Куглични вентил са ручицом	1
Спојница за цеви	21
Редуцир	24
Конусни редуцир	8
Продужени редуцир	4
ПВИЦ прикључак за резервоаре	18
Редуцири са навојима	14
Вентил уз мембрану	1
ПВИЦ цеви	40 m
Прохромске цеви	4 m
УКУПНО:	
9 943,49 €	

Укупна цена свих делова постројења је:

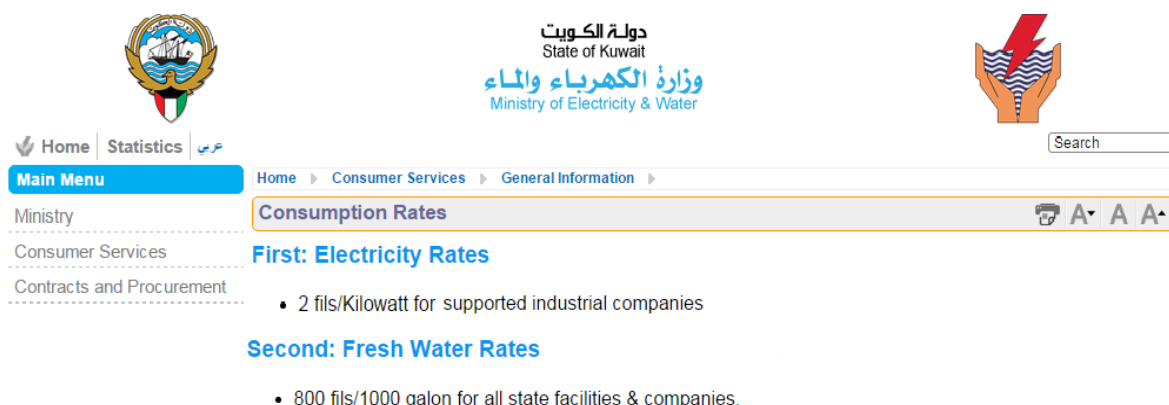
$$25\,885,37 + 9\,943,49 = 35\,828,86 \text{ €}$$

Откупна цена постројења, са додатих 30% који представљају зараду компаније Milanović inženjering, износи:

$$35\,828,86 \cdot 1,3 = \mathbf{46\,557,52 \text{ €}}$$

У 30% зараде урачунато је плаћање радника ангажованих на овом пројекту. Било је потребно ангажовати два вариоца, три бравара, два човека за монтажу, пројектант и технолог.

На основу цене пијаће воде и цене електричне енергије урађен је економски прорачун исплативости постројења. Цене воде и електричне енергије преузети су са званичног сајта Министарства електричне енергије и воде државе Кувајт (слика 64).



Слика 64 – Цена воде и електричне енергије у Кувајту [19]

Званична валута у држави Кувајт је кувајтски динар (KWD) и износи 2,96 €, а један KWD је 1 000 fils-a.

- Производња пијаће воде:

Капацитет постројења је $1 \text{ m}^3/\text{h}$. Ако постројење ради 350 дана у години, 15 дана отпада на могуће поправке услед квара, ремонта, чишћење мембрана, грубог филтера, УФ филтера, производња пијаће воде на годишњем нивоу износи:

$$1 \cdot 24 \cdot 350 = 8\,400 \frac{\text{m}^3}{\text{god}}$$

Продајна цена свеже пијаће воде у Кувајту износи:

$$\frac{800 \text{ fils} \cdot 0,001 \cdot 2,96}{1000 \text{ galona} \cdot 3,78541} = 0,006 \frac{\text{€}}{\text{l}}$$

Када се количина произведене пијаће воде помножи са продајном ценом 1 l исте, добије се бруто зарада на годишњем нивоу:

$$8\,400 \cdot 1000 \cdot 0,0006 = 5\,040 \frac{\text{€}}{\text{god}}$$

- Потрошња струје:

Постројење троши $12,5 \text{ kW/h}$ и ради 350 дана у години, тако да је укупна потрошња електричне енергије на годишњем нивоу:

$$12,5 \cdot 24 \cdot 350 = 105\,000 \frac{\text{kW}}{\text{god}}$$

Цена електричне енергије у Кувајту износи:

$$2 \cdot 0,001 \cdot 2,96 = 0,0059 \frac{\text{€}}{\text{kW}}$$

Када се потрошња електричне енергије на годишњем нивоу помножи са ценом 1 kW добија се трошак за електричну енергију на годишњем нивоу:

$$105\,000 \cdot 0,0059 = 621,6 \frac{\text{€}}{\text{god}}$$

- Додатни трошкови:

На ову суму додаје се сума од 400 €, која се односи на додатне трошкове као што су куповина хемикалије (антискаланта и NaOH) и одржавање система:

$$621,6 + 400 = 1\,021,6 \frac{\text{€}}{\text{god}}$$

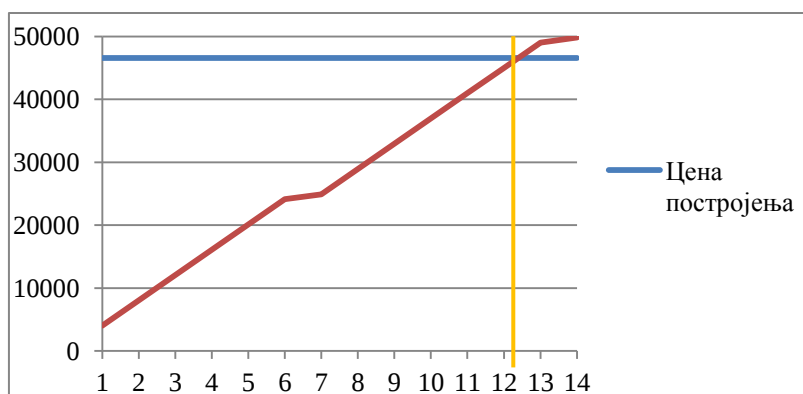
- Нето зарада на годишњем нивоу:

$$5\,040 - 1\,021,6 = 4\,018,4 \frac{\text{€}}{\text{god}}$$

- Исплативост постројења:

Како би се добио период исплативости постројења користи се укупна цена постројења и годишња нето зарада. Замена мембрана за реверзну осмозу врши се након сваке шесте године, уколико све у систему ради како треба. То би значило да се нето зарада сваке седме године умањује за 3 220,2 €, колико и кошта замена све три мембране. Због тога на дијаграму постоји промена нагиба линије нето зараде сваке седме године, док продајна цена постројења остаје константна.

Када ће се тачно постројење исплатити добија се када линија која показује годишњу нето зараду пресече линију која представља продајну цену постројења. Са дијаграма 4 се види да је период исплативости постројења 12 година и 5 месеци.



Дијаграм 4 – Период исплативости постројења

9. Закључак

Квалитет воде и рационализација потрошње исте у свим областима је услов опстанка човечанства и стварања простора за живот новим генерацијама. Убрзани технолошки развој који прати проналажење нових материјала, алтернативних извора енергије и чистих технологија ће битно утицати на концепцију пречишћавања воде, где ће примарно место имати мембранска технологија.

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

Ово постројење у Кувајту је чист пример да се мембране данас могу користити и за добијање питке воде из слане, морске воде. Наравно, потребно је искомбиновати више врста мембранске филтрације, као што је у овом случају то ултрафилтрација као предtretман и реверзна осмоза као главни третман. Уз то иде груби филтер како би се отклониле најкрупније нечистоће из сирове воде пре проласка кроз мембране и додавање хемикалија у току процеса прераде како би се квалитет добијене воде довео до максимума, тј. до стадијума да се може користити као вода за пиће.

Провера квалитета добијене воде одрађена је у програму ROSA. Из приказаних табела види се да се све потребне карактеристике добијене воде налазе у границама прописаним за пијаћу воду. То значи да испројектовани систем функционише како треба и да се може поставити на обали Кувајта.

Економским прорачуном добијен је период исплативости постројења. На основу продајне цене постројења и годишње нето зараде, при чему се мембране за реверзну осмозу мењају сваке седме године, добијено је да ће се постројење купцу исплатити након 12 година и 5 месеци. После тог периода купац остварује профит од 4 018,4 € на годишњем нивоу.

Добијени период исплативости постројења јесте дужи, али држави каква је Кувајт, где нема много извора пијаће воде, овакви системи су преко потребни. За њих то није ствар луксуза, већ основне потребе за пијаћом водом. А и на тај начин се може искористити потенцијал морске воде коју држава Кувајт поседује.

10. Литература

- [1] Шуштершич В., *Технологије и постројења у припреми воде за пиће и третману отпадних вода*, Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу, 2014
- [2] Правилник о хигијенској исправности воде за пиће Републике Србије, ("Сл. лист СРЈ", бр. 42/98 и 44/99)
- [3] Пећар К., Бајтал Х., *Ультрафилтрација у припреми питке воде*, Енергетика, господарство, екологија и етика, бр. 4, стр 132-135, 2011
- [4] Бајкин Ј., Војиновић–Милорадов М., *Преглед најчешће коришћених поступака пречишћавања пијаће воде у Канади*, стручни рад, Факултет Техничких наука, Нови Сад, 2009
- [5] Kocher J., Dvorak B., Skipton Sh., *Drinking water Treatment: Reverse Osmosis*, publication, Institute of Agriculture and Natural Resources, University of Nebraska - Lincoln, October 2003
- [6] Прошек Е., *Тестирање мембранских модула за ултрафилтрацију*, дипломски рад, Факултет за грађевину и геодезију, Универзитет у Љубљани, 2011
- [7] <http://www.siemens.com/entry/cc/en/> (приступљено 3.8.2015.)
- [8] Бајрамовић Е., Маликић Е., Мехичић А., *Мембрански процеси: микро и ултрафилтрација мембранских процеса*, семинарски рад, Технолошки факултет, Универзитет у Тузли, 2010
- [9] Гржетић И., *Процеси прераде и дораде воде*, стручни рад, Хемијски факултет, Универзитет у Београду, 2010
- [10] <http://www.eoearth.org/view/article/156957/> (приступљено 5.8.2015.)
- [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, Decembar 1999
- [12] *Brackish Water Treatment Skid BW-UR-010*, technical description, Milanović inženjering, Jun 2015
- [13] Каталог: *Azud modular 100*

- [14] Каталог: *Technical specification Kristal 600 ETN - Hyflux membranes*
- [15] Каталог: *Calpeda Vertical and horizontal Pumps*
- [16] Каталог: *Technical specification FILMTEC BW30-4040*
- [17] Каталог: *Grundfos wasserversorgungsanlagen*
- [18] <http://www.dow.com/en-us/water-and-process-solutions/resources/design-software/rosa-software> (приступљено 12.9.2015.)
- [19] <http://www.mew.gov.kw/en/?com=content&id=93&act=view> (приступљено 15.9.2015.)