

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Инжењерство заштите животне средине

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Инжењерство заштите животне средине

Предмет: Напредне технике третмана вода

Број индекса: 310/2017

Катарина В. Лековић

Реверзна осмоза и нанофилтрација

мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Др Вања Шуштершич - ментор**

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да опише процес филтације са посебним освртом на реверзну осмозу и нанофилтрацију. Такође у оквиру рада, кандидат треба да опише типове мембрана, материјале и принцип рада, примену реверзне осмозе у процесима десалинизације и индустрији, а на крају је потребно извршити симулацију рада једног постројења у неком од софтверских пакета.

Препоручена литература:

- [1] Ghada A Al-Bazedi, Marwa M El-Sayed, Mona A Abdel-Fatah: „Comparison between Reverse Osmosis Desalination Cost Estimation Trends“, *Journal of Scientific and Engineering Research*, 2016, 3(5):56-62, ISSN 2394-2630
- [2] Boram Gu, Xiao Yun Xu, Claire S. Adjiman: “A predictive model for spiral wound reverse osmosis membranemodules: The effect of winding geometry and accurate geometric details”, *Computers and Chemical Engineering* 96 (2017) 248–265,
- [3] Thomas M. Missimer, Robert G. Maliva: “Environmental issues in seawater reverse osmosis desalination: Intakes and outfalls”, *Desalination* 434 (2018) 198–215
- [4] A. Al-Zahrani, J. Orfi*, Z. Al-Suhaibani, B. Salim and H. Al-Ansary: “Thermodynamic Analysis of a Reverse Osmosis Desalination Unit with Energy Recovery System”, *Procedia Engineering* 33 (2012) 404 – 414

Крагујевац, август 2018

ментор:

Др Вања Шуштершич, ред. проф.

Резиме:

Процес реверзне осмозе и нанофилтрације у последње време заузима примарно место у третману воде. Разлог за то је добијање воде изузетног квалитета, са смањеним трошковима електричне енергије у односу на друге процесе, која се користи за пиће, али и за процесе у којима је квалитет воде од пресудне важности.

У раду су приказана основна својства и карактеристике ових технологија, са посебним освртом на области примене, пример прорачуна и 3D модел једног постројења реверзне осмозе.

Кључне речи:

Филтрација, мембрана, 3D моделирање

Abstract:

The process of reverse osmosis and nanofiltration takes primary place in water treatment in recent years. The reason behind that is the end result of highquality water, with minimized electricity expenses comparing to other processes, which can be used for drinking, but also for processes where the water quality is crucial.

Within this master thesis, some basic properties and characteristics of these technologies are shown, with special accent on scope of application, example of calculations and a 3D model of one reverse osmosis plant.

Key words:

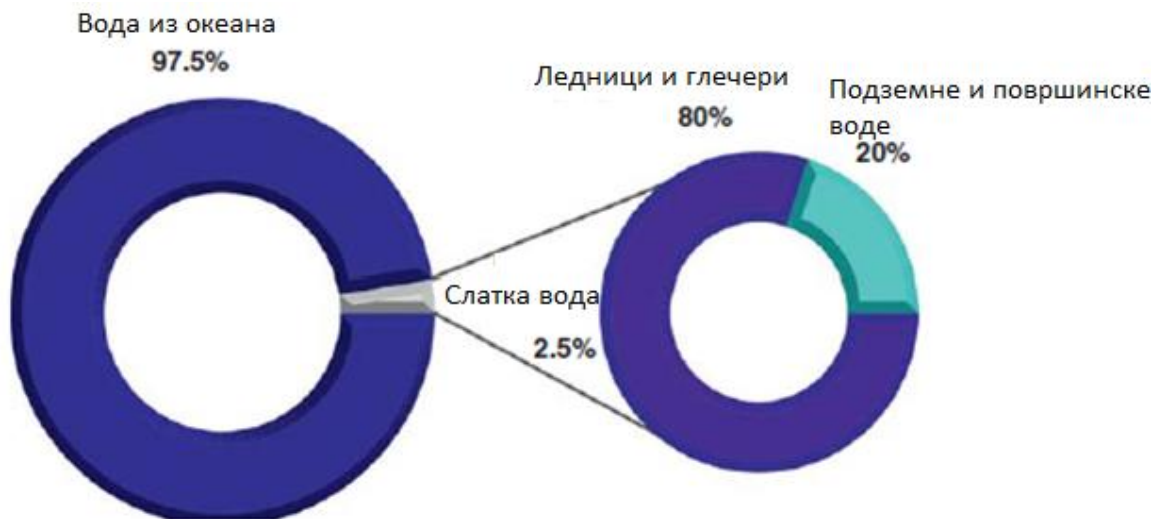
Filtration, membrane, 3D modeling

Садржај

Увод.....	6
1. Филтрација воде.....	8
1.1 Механизам филтрације.....	10
1.2 Мембранска филтрација	12
2. Основе реверзне осмозе и нанофилтрације	15
2.1 Осмоза.....	15
2.2 Реверзна осмоза.....	17
2.3 Нанофилтрација	20
3. РО Мембране.....	22
3.1 Мембрана	22
3.1.1 Материјал мембране	26
3.1.2 Параметри ефикасности мембрана.....	28
4. Примена реверзне осмозе у процесима десалинације.....	30
5. Примена реверзне осмозе у индустрији.....	32
5.1 Аутомобилска индустрија.....	33
5.2 Здравство и медицина	34
5.3 Индустрија пића	35
5.3.1 Пиваре.....	36
6. Прорачун једног постројења	38
6.1 Основне једначине за прорачун једног постројења	38
6.2 Прорачун РО система.....	41
6.3 3D Модел РО система	42
7. Техно-економска анализа	54
Закључак	57
Литература	58

Увод

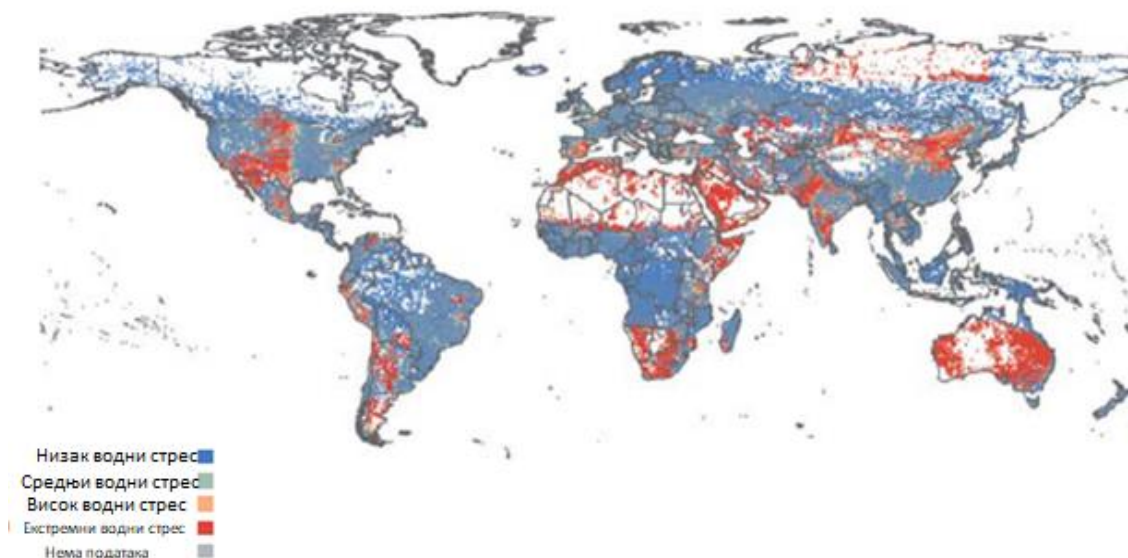
Површина Земље је највећим делом прекривена водом. Од укупне количине воде на планети, слану воду чини 97,5% а слатке воде је свега 2.5% (слика 1). Процењује се да је само 1% слатке воде или 0,007% укупне количине воде на Земљи могуће користити за потребе човечанства, док се већа количина слатке воде налази у ледницима, глечерима и подземним водама.



Слика 1: Расподела светских водних ресурса [1]

Снабдевање питком водом и очување околине представљају један од главних проблема данашњице, тако да питка вода постаје један од главних ресурса 21. века. Разлог за то јесте константан пораст броја становника на Земљи што аутоматски имплицира и пораст индустрије као и пољопривредне производње.

Неки региони у свету немају апсолутно никаквих проблема са доступношћу свеже воде (слика 2). Ово укључује области са релативно малом популацијом и једноставним приступом води, као што су северна Русија, Скандинавија, централни и северни приобални региони јужне Америке и север северне Америке. Области које су више насељене, као и области са великим развојем индустрије су више изложене водном стресу, нарочито лоцираним у безводним регионима.



Слика 2: Доступност воде [1]

Поред пораста становништва посебан акценат се ставља на чињеницу да потражња воде по глави становника се повећава брже од стопе раста популације. Раст броја становника и пораст потражње воде по становнику јесте велики проблем, али и климатске промене на које директно утиче раст популације. Како популација расте, затим индустрија, климатске промене се убрзавају, што доводи до драстичних климатских промена као што је на пр. суша или промене у количинама падавина.

За већину урбанизоване популације, свежа вода је нешто што се може лако наћи, на славини, међутим, у неким деловима света је изузетно цењени производ, односно нешто неопходно за опстанак, живот човека. На пример у Лос Анђелесу, падавине су изузетно мало заступљене, а притом подручје готово да нема водних ресурса, па се стога изналазе различити начини и технике за снабдевање овог града водом.

Развојем науке и индустрије дошло је до развоја нових производних техника и технологија као што су мембрански поступци обраде сирове воде. Данас се поступци реверзне осмозе и нанофилтрације сврставају у најмодерније технологије обраде воде. Развојем нанотехнологија, мембрански поступци су доживели револуцију због високе ефикасности сепарације као и еколошке прихватљивости.

Технологија реверзне осмозе је почела да се користи 60-их година прошлог века, у војне сврхе, док је данас све више распрострањена и у свакодневном животу.

Реверзна осмоза се, осим за десалинизацију питке воде, користи и у многобројним индустријским и технолошким процесима како у хемијској, петрохемијској, фармацеутској и металуршкој индустрији, затим у производњи алкохолних и безалкохолних пића, тако и за припрему воде за расхладне системе и парне котлове [1].

1. Филтрација воде

Филтрација је један од конвенционалних поступака пречишћавања воде, где се вода третира проласком кроз порозни материјал. Током проласка кроз порозни филтерски материјал квалитет воде се побољшава уклањањем суспендованих и колоидних материја, бактерија и других организама.

Вода се у природи филтрира проласком кроз порозне слојеве земље. Ипак, површинска и подземна вода су изложене многим нечистоћама, а филтрација представља један од најстаријих и најједноставнијих метода за њихово одстрањење.

Процеси који претходе филтрацији у конвенционалним постројењима за прераду воде су *коагулација*, *флокулација* и *седиментација*. Процесима директне филтрације претходи само коагулација и флокулација када се флокуле отклањају филтерима.

Филтрацији претходи једна или више следећих процедура:

Додавање хемикалија и брзо мешање: Хемикалије се могу додати води ради побољшања процеса који ће да уследи. Ове хемикалије укључују регулаторе рН вредности и коагуланте. Различити уређаји попут статичких мешалица, могу се користити за мешање воде ради подједнаког распореда хемикалија.

Флокулација: Хемијски третирана вода се шаље у базен где колоидне честице и суспендоване честице формирају теже честице – флокуле.

Седиментација: Брзина воде се смањује како би суспендоване честице (укључујући флокуле) могле да се издвоје из воде гравитацијом. Када се исталоже, формирају слој муља, који се касније отклања.

Филтрацију заправо чини мешавина физичких и хемијских процеса. Механичким путем се честице отклањају задржавањем у филтерском материјалу. Адхезија је подједнако важан процес, при коме се суспендоване честице задржавају на испуни филтера или претходно задржаног материјала.

Биолошки процеси су такође важни код спорих, пешчаних филтера. Ови филтери формирају слој микроорганизама који сакупљају и разлажу алге, бактерије, и друга органска једињења, пре него што вода сама додирне филтерски медиј.

У пракси се као филтерска испуна у процесу филтрације воде најчешће користе следећи материјали: кварцни песак, дробљени камен, стакло, антрацит, пластика и други инертни материјали. Као филтерски материјал најчешће се користи кварцни песак, с обзиром на

релативно ниску цену и задовољавајуће искуство у досадашњој пракси. Чак и ако се користе други филтерски материјали, као на пример антрацит, то је искључиво у комбинацији са песком да би се добила вишеслојна филтерска испуна са већим капацитетом за акумулацију нечистоћа.

Током филтрације нечистоће се уклањају и акумулирају на зрнима и у порама филтерског материјала, што проузрокује смањење запремине пора и повећање хидрауличког отпора у филтерској испуни. Временом отпори кроз испуну постају велики, па је потребно извршити прање филтра због смањеног капацитета филтрације. У односу на брзину филтрације воде, интервал између два прања и начин регенерације филтерске испуне, могуће је извршити поделу на споре и брзе филтре.

Спори филтери су најстарији тип филтера и најчешће се користе за јавно снабдевање потрошача питком водом. Вода кроз споре филтре пролази гравитационо, кроз слој финог песка врло малим брзинама. Брзина филтрације при средњој дневној потрошњи воде варира од 0,1-0,5 m/h. С обзиром да је брзина филтрације врло мала, интервал између два прања филтера је релативно дуг и износи неколико недеља па до неколико месеци. На самој површини филтерског слоја од финог песка, ефективног пречника зрна 0,15-0,35 mm, задржавају се колоидне и суспендоване материје и друге нечистоће.

Код спорих филтера обзиром на величину филтерских зрна сва нечистоћа из воде се издваја на првих неколико центиметара (2 до 3). Регенерација се обавља тако што се тих неколико центиметара уклони, баци или опере као што се пере агрегат за прављање бетона. С обзиром да је овај процес регенерације захтеван и скуп, учесталост регенерације је једном у 2 месеца. Из тог разлога вода која долази на споре пешчане филтре мора имати мању мутноћу од 15 NTU.

Код *брзих филтера* вода пролази кроз крупнији филтерски материјал, и под знатно већим брзинама. Коришћење брзих филтера, у пречишћавању питких вода, условљено је захтевом за мањим простором. Разликују се од спорих филтера, зато што су биолошки процеси надомештени са хемијско-физичким процесима коагулације и флокулације. За конвенционалне брзе филтре са гравитационим током воде на доле, песак је гранулације од 0,5-2,0 mm. За услов средње дневне производње воде, брзина филтрације може бити у интервалу око 5-8 m/h. При овим условима знатно веће брзине филтрације потребна је чешћа регенерација филтра, која се врши прањем водом одоздо на горе, тј. супротно току филтрације воде [2].

1.1 Механизам филтрације

Уклањање нечистоћа из воде поступком филтрације састоји се од више различитих процеса, као што су: механичко задржавање честица (ефекат сита), таложење, адсорпција, хемијска и биолошка активност.

Механичко задржавање честица

Механичко задржавање честица подразумева издвајање суспендованих и колоидних материја које су присутне у сировој води у горњем слоју филтерске испуне. Честице крупније од пора филтра се распоређују између зрна филтра и стварају услове за задржавање ситнијих честица нечистоће. Колоидне честице, које су ситније од пора, продиру дубље у филтерску испуну где се једним делом накнадном, односно секундарном флокулацијом укрупњују и задржавају у порама филтра.

Таложење

Таложењем се уклањају честице које су ситније од пора филтерске испуне, слично таложењу у таложницима. У таложнику се муљ таложи на дну, док је у филтерској испуни на располагању површина свих гранула у испуни. Ако означимо порозност са p , 1 m^3 сферних честица пречника d има површину P :

$$P = \frac{6}{d} \cdot (1 - p) \quad (1)$$

Ефикасност таложења највише зависи од односа површинског оптерећења и брзине таложења. Ефикасност таложења је функција односа површинског оптерећења и брзине таложења честица. За ламинарно таложење важи Stokes-ов закон.

$$V_s = \frac{2}{9} \cdot \frac{(\rho_p - \rho_f)}{\mu} \cdot g \cdot R^2 \quad (2)$$

где је:

V_s - терминална брзина честица (m/s),

g - гравитационо убрзање (m/s^2),

ρ_p - густина честица (kg/m^3),

ρ_f – густина флуида (kg/m^3).

Адсорпција

Процесом адсорпције на филтерској испуни уклањају се најситније колоидне честице и молекули растворених једињења у води. Силе адсорпције имају најјачи утицај на растојању од 0,01-1,00 μm . На другој страни, филм воде који окружује честице филтерске испуне има много већу дебљину. Тако, на пример, филтерски материјал пречника 0,8 mm и порозности

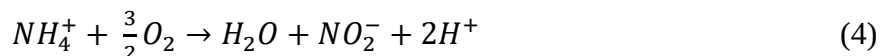
40 % има површину приближно 4.500 m^2 , тако да дебљина филма није мања од $90 \text{ }\mu\text{m}$, а то је знатно више од величине присутних честица нечистоће у води. То значи да је уклањање најситнијих честица нечистоће адсорпцијом једино могуће помоћу других процеса који омогућавају довођење честица нечистоће у близину дејства адсорпционих сила, као што су силе гравитације, инерције, дифузије, хидродинамичке и силе турбуленције.

Хемијска активност

Хемијска активност је процес помоћу којег се тешко разградива једињења растворена у води преводе у једноставније, разградљиве супстанце или у нерастворне честице које се уклањају другим механизмима филтрације. Пример хемијске активности током филтрације је уклањање раствореног двовалентног гвожђа из воде, оксидација амонијум јона уз учешће бактерија или издвајање раствореног двовалентног мангана, где манганизована филтерска испуна има улогу катализатора. У присуству кисеоника може доћи до аеробне разградње органске материје. Та реакција може бити представљена као:



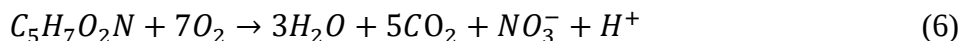
Из реакције се види да узимањем $1,4 \text{ g}$ кисеоника производи се $0,16 \text{ g}$ амонијака по граму органске материје. При томе се формира угљен-диоксид који остаје у раствору и избацује се са ефлуентом, а амонијак оксидишу бактерије у нитрите:



Такође, створене нитрите нитро бактерије оксидишу у нитрате:



Истовремено се дешава реакција: $\text{H}^+ + \text{HCO}_3^- \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$, што води до следеће реакције:



За време реакције се повећава потражња кисеоника до 2 g по граму органске материје, док је за комплетну оксидацију 1 g присутног амонијака у сировој води потребно најмање $3,6 \text{ g}$ кисеоника.

За процес уклањања гвожђа, потребан кисеоник је доста мањи у процесу превођења растворених компоненти гвожђа у нерастворне хидрате фери-оксид, и износи $0,14 \text{ грама}$ кисеоника по граму гвожђа. За уклањање мангана лимитирајућа потребна концентрација кисеоника је $0,29 \text{ грама}$, по граму мангана, чијим се обезбеђивањем компоненте мангана преводе у манган диоксид.

Биолошка активност

Биолошка активност је везана за микроорганизме који живе у филтерском слоју. У току дужег периода рада филтра, бактерије које су природно присутне у сировој води насељавају зрна испуне, где користе депоновану храну током процеса филтрације воде.

Храна делимично оксидише, како би бактерије обезбедиле енергију за животне процесе (десимилација) и делимично за прираст бактеријске масе (асимилација). На овај начин колоиди и растворена једињења трансформишу се у бактеријску масу и енергију за живот бактерија.

Филтер се чисти протоком воде у супротном правцу, "повратним прањем", брзином која је условљена парцијалном флуидизацијом слојева. Тако потрошени филтерски слој отпушта нахватање честице које се спирају са филтера у систем за ефлуент. Да би се регенерација изводила методом уклањања чврстих честица повратним прањем, подразумева се да појединачни слојеви вишеслоја буду различите густине. Обично се користе: песак, антрацит и пластика у гранулама. Величина зрна песка треба да буде у опсегу између 0.5 - 1.5 mm, за антрацит 2 - 3 mm и 3 - 5 mm за пластику.

Брзина воде приликом филтрације обично је 10 – 15 m/h, или 10 – 15 m³/m² филтерског слоја по сату. Смањење притиска на крају филтрационог циклуса је уобичајено око 1 bar. Током повратног прања, брзина протока би требало да буде између 20 и 70 m/h. За повратно прање се мора користити филтрирана вода. Ваздух се убацује у воду за повратно прање како би се поспешило уклањање накупљених чврстих нечистоћа у филтрационом слоју, смањила потрошња воде за повратно прање и скратило време процеса прања. Комбинованом употребом воде и ваздуха могуће је смањити потрошњу воде за 20 – 30% [2].

1.2 Мембранска филтрација

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

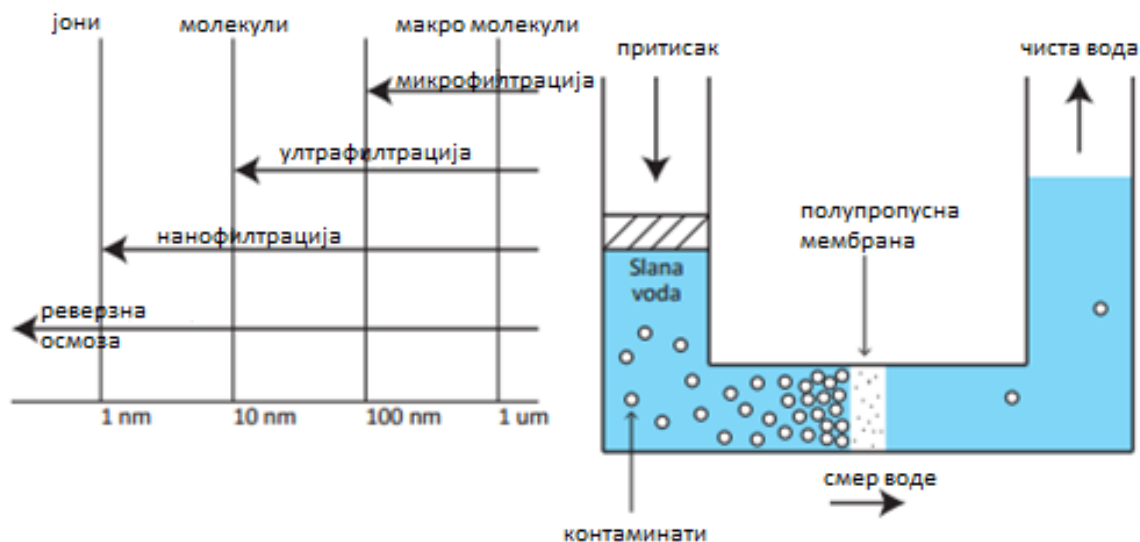
Мембранска филтрација се састоји од комбинације конвенционалне филтрације и врло делотворног раздвајања чврсте (активни муљ) и течне фазе (обрађена отпадна вода). Механички третирана вода пролази процес аерације, биолошки третман, па се затим проласком кроз мембрану, чисти од свих чврстих материја које су веће од пора на мембрани. Захваљујући особинама мембране могуће је одстранити нечистоће различитих врста: вирусе, колоиде, бактерије, беланчевине, итд.

Мембрански филтери су пројектовани и произведени помоћу различитих материјала. Генерално, материјал се бира на основу два кључна фактора: величине пора и трајности. Величина пора се односи на величину "рупа" или "празнине" у мембранском материјалу. Што је мања димензија пора, мања је честица која ће бити блокирана да пролази кроз

мембрански филтер. Издржљивост се односи на способност мембране да функционише и издржава услове на које је изложена.

Уобичајени мембрански процеси се могу поделити у неколико група у зависности од величине честица (слика 3) које се издвајају и погонске силе између флуидних струја. Тако су у широј индустријској примени процеси:

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



Слика 3: Степен издвајања мембранских филтрација и шема реверзне осмозе [2]

Класификација мембранских процеса врши се према погонској сили насталој као резултат више фактора попут разлике концентрација, притиска, температура или електричних потенцијала неке супстанце присутне у два флуида при контакту преко мембране. Погонска сила настала као разлика притисака постоји у процесима микрофилтрације, ултрафилтрације, нанофилтрације, реверзне осмозе, гасне сепарације и первапорације.

У мембранским процесима дијализе и дифузионе дијализе издвајање компонената се врши услед разлике концентрација, док је у процесима електродијализе присутна разлика електричних потенцијала.

Мембрански сепарациони процеси имају различите области примене. Ефикасна примена мембранских процеса користи се ради добијања пијаће воде из морске воде, уклањање штетних гасова и издвајање компоненти које се тешко могу сепарисати применом

конвенционалних сепарационих процеса, затим при третману прехранбених и фармацеутских производа и за друге потребе. Мембранска постројења се овако широко користе због лаке замене дотрајалих елемената, уређаји су мањих димензија и преносиви. Такође, не производе никакав отпад и на пољу сигурности система потпуно су безбедни.

Мембрански процеси су уведени у индустријску примену у првој половини 20. века, знатно касније него прва забележена мембранска технологија [2].

2. Основе реверзне осмозе и нанофилтрације

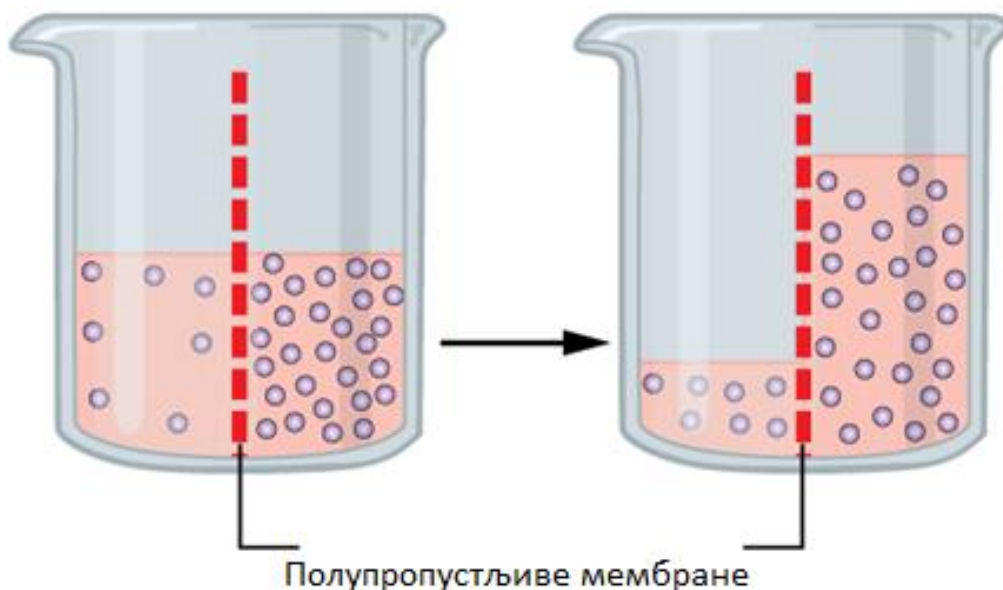
2.1 Осмоза

Осмоза представља дифузију молекула растварача кроз полупропустљиву мембрану која пропушта молекуле растварача али не пропушта молекуле растворене супстанце. Осмоза се јавља кад су концентрације раствора са две стране мембране различите. Пошто полупропустљива мембрана пропушта само молекуле растварача, али не и честице растворене супстанце, долази до дифузије растварача кроз мембрану тј. молекули растварача пролазе кроз мембрану како би се изједначиле концентрације са обе стране мембране. Молекули растварача се крећу из средине са мањом концентрацијом у средину са већом концентрацијом растворених супстанци (слика 4).

При дифузији молекула растварача кроз мембрану долази до пораста нивоа течности на једној страни мембране и смањења нивоа течности на другом нивоу. Пораст нивоа течности на једној страни ствара хидростатички притисак који се супротставља осмози тј. осмотском притиску који делује на мембрану. Када се ова два притиска изједначе долази до успостављања равнотеже и процес дифузије се завршава тј. неће више доћи до подизања нивоа течности.

Притисак при коме се успоставља ова равнотежа се назива ефективни осмотски притисак. Осмотски притисак је већи што је концентрација раствора већа и обрнуто.

У природи постоји више примера осмозе, као што је узимање воде из земљишта од стране биљака или улажење воде у ћелију. Ако се ћелије налазе у воденом раствору, вода (која у ћелији врши функцију растварача) ће тежити да прође кроз ћелијску мембрану у циљу да се изједначе концентрације са обе стране мембране. Тако, ако ћелију ставимо у хипотоничан раствор (раствор који је мање концентрације у однос на саму ћелију) доћи ће до улажења воде у ћелију, до њеног бубрења и прскања. У хипертоничном раствору (концентрованији од раствора у самој ћелији), вода ће излазити из ћелије и она ће се смежурати. Због тога је веома важно да се одржава сталан осмотски притисак, односно количина воде у организму што се назива осморегулација [3].



Слика 4: Прва чаша - два раствора различитих концентрација одвојених полупропусном мембраном, друга чаша – вода прелази на десну страну од полупропусне мембране и тиме тежи изједначавању концентрација

Процес осмозе се одвија до оног тренутка док се концентрације са обе стране не изједначе или док хидростатички притисак не постане једнак осмотском. Број молекула који пролазе кроз мембрану у једном смеру мора бити једнак броју молекула који се враћају. Када се достигне осмотска равнотежа разлика притисака која се успоставља у систему назива се осмотски притисак система и израчунава се према изразу:

$$\pi = c \cdot R \cdot T \text{ [Pa]} \quad (7)$$

де је:

π - осмотски притисак [Pa]

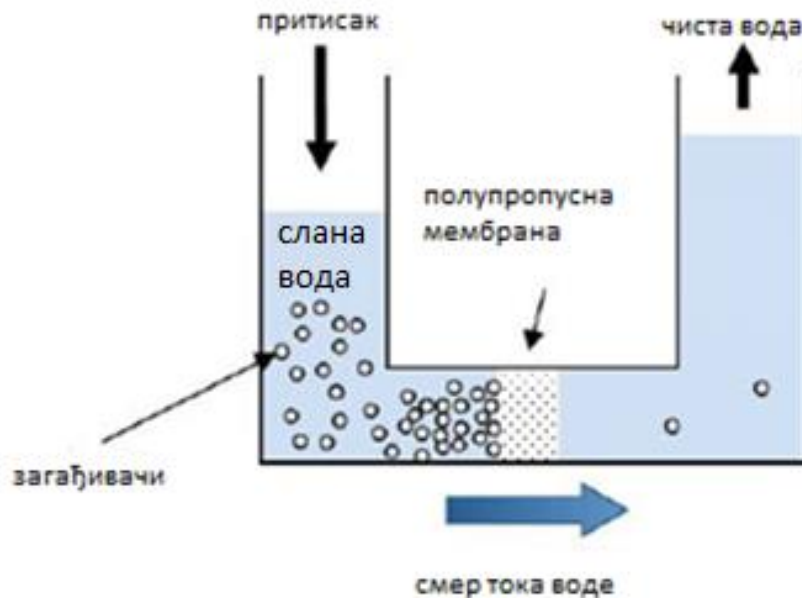
c – концентрација [mol/l]

R – константа (8,314) [J/K·mol]

T – температура раствора [K]

2.2 Реверзна осмоза

Реверзна осмоза је процес осмозе али у другом смеру. Док се осмоза јавља природно без потребне енергије, за обрнути процес је она неопходна. Мембрана реверзне осмозе је полупропусна мембрана која дозвољава пролаз молекула воде, али не допушта пролаз већине растворених супстанци, органских материја, бактерија и патогена (слика 5).

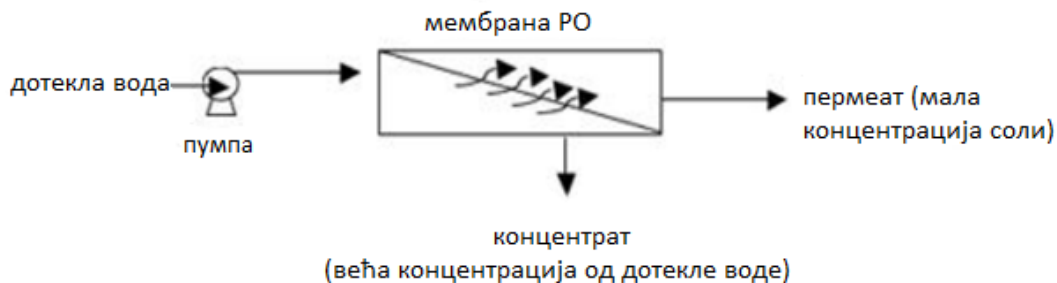


Слика 5: Реверзна осмоза [3]

Међутим, воду је потребно ”погурати” кроз мембрану коришћењем притиска који је већи од природног осмотског како би се вода деминерализовала, где се чиста вода пропушта кроз мембрану, а соли се задржавају.

Реверзна осмоза ради помоћу високо-притисних пумпи како би се повећао притисак на сланој страни мембране и вода се присилила да пролази кроз полу-пропусну мембрану, остављајући скоро све растворене соли у концентрату. Величина потребног притиска зависи од концентрације соли сирове воде. Што је сирова вода концентрисанија, потребан је већи притисак како би се надјачао осмотски притисак.

Десалинизована вода која је деминерализована или дејонизованана зове се пермеат, док садржај који није прошао кроз мембрану је концентрат [3].



Слика 6: Шема система за реверзну осмозу [3]

Пролаз растворених супстанци кроз мембране за реверзну осмозу је увек присутан у већој или мањој мери. Иако вредност фактора сепарације за поједине мембране и врсте молекула могу значајније варирати ипак постоје општа правила која важе за све мембране. Тако нпр. мембране боље задржавају вишавалентне јоне него једновалентне.

Реверзна осмоза се данас највише користи за десалинацију морске воде и воде нижег салинитета са циљем добијања воде за пиће. Од укупног броја инсталираних постројења у свету више од половине се користи за процес десалинације.

За десалинацију воде нижег салинитета која обично садржи између 2-10 g/l соли, уклањање мора бити преко 90% јер је препорука Светске здравствене организације да воде за пиће не садрже више од 0,5 g/l укупних отопљених соли. Прве мембране од целулозног ацетата могле су остварити такву сепарацију, па су и прва постројења за десалинацију воде нижег салинитета постављене већ раних 1960-их.

Осмотски притисак воде нижег салинитета расте за 0,75 bar-а за сваки грам растворених соли у литру тако да не представља већи проблем у процесу. Главни проблем представља зачепљење мембране услед таложења каменца. Ако су мембране повезане серијски једна иза друге у истом кућишту, тако да концентрат из прве прелази као улазна вода у другу, проблем таложења каменца појавиће се прво код последње мембране јер на њу долази најконцентрованији улазни ток након што се већ већина воде профилирала на претходним мембранама. За спречавање таложења каменца најчешће се примењује предтретман улазне воде.

Осим каменца при десалинацији треба спречити и раст микроорганизама по површини мембране што се постиже предтретманом, дезинфекцијом хлором или неком другом методом. Ако се користи хлор и његови препарати, код већине мембрана за реверзну осмозу потребно је хлор уклонити јер разара структуру мембране, а то се постиже натријум сулфатом или активним угљем.

При десалинацији морске воде која има значајно већу концентрацију соли морају се употребљавати мембране које имају фактор сепарације за NaCl већи од 99,3% како би се добила вода за пиће која задовољава све прописе. Због знатно већег осмотског притиска

морске воде у односу на воду нижег салинитета, код десалинације морске воде употребљавају се знатно виши притисци од око 60 bar-а. При томе треба водити рачуна да се реверзном осмозом треба савладати осмотски притисак концентрација који се ствара на улазној страни мембране, а он може код десалинације морске воде имати осмотски притисак и до 40 bara. Искоришћења се овде крећу од 35-45% управо због великих осмотских притисака које треба савладати, а који расту са искоришћењем процеса због веће концентрације улазне воде. Због тога је готово увек исплативо искористити излазни концентрат за добијање електричне струје преко турбина и генератора, а у последње време се притисак концентрата предаје улазној води у измењивачима притиска. Искоришћењем притиска концентрата може се смањити цена десалинације и за више од 30%.

И морску воду пре обраде треба обработити на исти начин као и воду са нижим садржајем соли при чему код морске воде посебан проблем праве планктонски организми који лако зачепљавају мембране, па се претходно морају уклонити филтрацијом. Цена предtretмана се може смањити копањем плитких лагуна на обали мора у које морска вода улази кроз слој песка у тлу при чему се уклањају планктонски организми.

Мембране реверзне осмозе захтевају периодично чишћење, негде између 1 до 4 пута годишње у зависности од квалитета долазне воде. Као генерално правило, ако нормални притисак падне или нормалан пролаз соли порасте за 15%, тада је време за чишћење. Мембране реверзне осмозе се могу чистити на месту или се могу извадити из система и проследити специјализованим компанијама које се баве њиховим чишћењем.

Чишћење мембране реверзне осмозе укључује средства за чишћење са ниским и високим рН како би се уклонили онечишћивачи из мембране. Каменац се уклања средствима са ниском рН вредношћу, а органске материје, колоидне и биолошке насlage са високом рН вредношћу. Чишћење мембрана не представља само избор правог хемијског средства за чишћење, постоји много других фактора као што је ток, температура воде и њен квалитет.

Мембрански поступци захтевају одређену обраду пристигле воде. Предtretман је први корак у контроли таложења у мембрани. У својој најједноставнијој форми, предtretман укључује микрофилтрацију без дозирања хемикалија. Међутим када је површинска вода обрађена, поступак предtretмана може бити пуно комплекснији и укључује регулацију рН вредности, хлора, додавање коагуланата, седиментацију, бистрење као и адсорпцију. Неколико важних фактора се мора узети у обзир при разматрању предtretмана [3]:

- Материјал од којег је мембрана састављена.
- Конфигурација модула.
- Квалитет сирове воде и
- Квалитет третиране воде.

Накнадна обрада се састоји од неколико различитих поступака за реверзну осмозу и нанофилтрацију. Поступци, као и њихов редослед зависе од квалитета воде који се жели постићи.

2.3 Нанофилтрација

Нанофилтрација представља једну од мембранских технологија која користи притисак како би утицала на сепарацију загађивача из воде. Користе се полу-пропусне мембране које имају способност да задрже суспендоване или растворене супстанце.

Мембране нанофилтрације и њихова својства су различита, али се могу описати као мембране које имају карактеристику одбијања која се креће у распону од реверзне осмозе до ултрафилтрације. Јединственост ових мембрана је истакнута њиховом способношћу да селективно одбијају различите растворене соли, и имају високо одбијање молекула мале молекулске тежине. Мембране нанофилтрације се углавном користе да делимично омекшају воду за пиће, допуштајући неким минералима пролазак. Кључ у коришћењу мембрана нанофилтрације за одређене поступке је одабир мембране са одговарајућим карактеристикама одбијања. Мембране нанофилтрације се генерално карактеришу величином пора у нанометарском распону. Површински потенцијал је најчешће негативан и има највећи утицај на селективни пролазак.

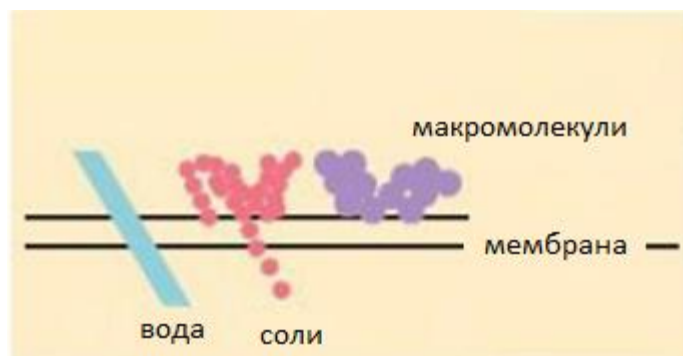
Дизајн система нанофилтрације често може бити и компликованији од система реверзне осмозе. Пошто што је потребан преко – мембрански притисак који је врло низак, дизајн система који ће омогућити балансиран проток кроз мембрану је тешко постићи. Један од најчешћих приступа при дизајнирању система нанофилтрације јесте са више типова елемената.

У неким случајевима органска једињења могу запушити мембрану, посебно када систем треба да произведе велику количину воде. То додатно компликује ситуацију јер зачепљење мембране изазива промену одбијања и/или смањење пропусности мембране која може утицати и на квалитет воде и на оперативне трошкове због повећане потребе за енергијом и већом потрошњом хемикалија потребних за стабилизацију пермеата.

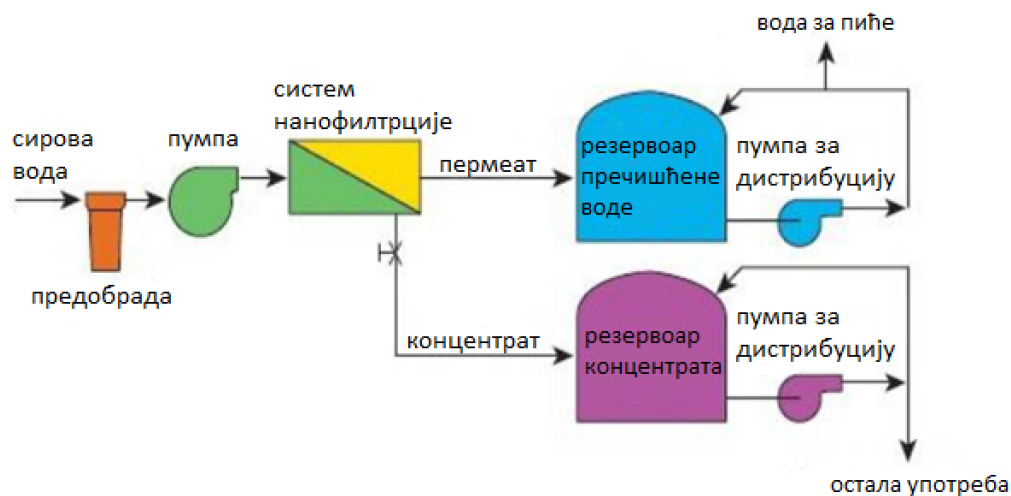
Мембране за нанофилтрацију су у начелу идентичне мембранама за реверзну осмозу јер се производе од истих полимера и на исти начин (углавном модул са спиралним намотајем) само што је њихова величина пора нешто већа. То значи да мањи једновалентни јони пролазе лакше кроз мембрану, док је задржавање двовалентних јона слично као код мембрана за реверзну осмозу. Мембране за нанофилтрацију врло добро задржавају мање органске молекуле као што су боје, хербициди, пестициди или шећери. У односу на реверзну осмозу, нанофилтрационе мембране имају 2 до 5 пута већу пермеабилност тако

да се могу употребљавати при нижим притисцима дајући задовољавајући флукс пермеата. Из ових разлика одмах се може претпоставити и могућа примена нанофилтрације. Док реверзна осмоза има бољу способност уклањања NaCl у високим концентрацијама, нанофилтрација се користи за филтрацију вода са мањим концентрацијама соли, већим уделом двовалентних јона и за уклањање органских супстанци из воде. При таквим карактеристикама улазне воде, нанофилтрација је економски значајно исплативија од реверзне осмозе. Типичне примене нанофилтрације су уклањање органских супстанци из површинских вода у циљу добијања пијаће воде, делимично омекшавање воде, третман отпадних вода.

Карактеристика која дефинише мембране нанофилтрације јесте да одбијају вишевалентне јоне у значајно већој мери од једновалентних јона. Специфично одбијање јона варира у зависности од произвођача мембрана, али одбијање вишевалентних јона од 95% и одбијање једновалентних јона од само 20% није неуобичајено за мембране нанофилтрације. Већина данас доступних мембрана су спиралне конструкције. Слика 7 приказује нанофилтрацију у погледу ефикасности уклањања [3].



Слика 7: Квалитет уклањања нанофилтрацијом [3]

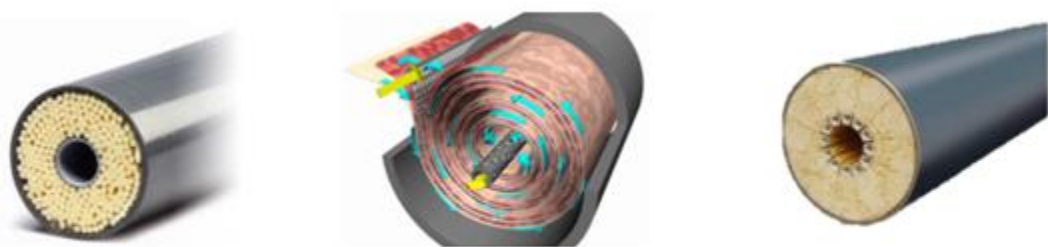


Слика 8: Шема система за нанофилтрацију [3]

3. РО Мембране

3.1 Мембрана

Мембрана је лист материјала са изузетно сложене структуром шупљина. У припреми воде микрофилтрацијом доминирају мембране типа шупље влакно (енг. *hollow fiber*), док у припреми воде за нанофилтрацију и реверзну осмозу доминирају тзв. спирално увијене мембране (енг. *spiral wound*), или у неким случајевима фино шупље влакно (енг. *hollow fine fiber*), налик власима косе са малим спољашњим пречником и изузетно великом густином паковања. Различите врсте мембранских модула су приказане на слици 9.



Шупље влакно Спирално увијена мембрана Фино у шупље влакно

Слика 9 – Врсте мембранских модула [2]

Мембрана је централни део система мембранске филтрације, а један од најважнијих параметара мембранске филтрације је и величина материјала који мембрана задржава, односно њене ретенционе особине. Задржавање на мембранама за микрофилтрацију се оцењује преко пречника материјала који мембрана не пропушта, док је за мембране ултрафилтрације критеријум такозвани MWCO (енг. *molecular weight cut off*) што подразумева да молекулска маса материјала завршава 90% на мембрани.

Што се тиче структуре мембране код микрофилтрације се углавном користе хомогене мембране што значи да су структура и порозитет мембране релативно константне, док се код ултрафилтрације, нанофилтрације и реверзне осмозе углавном користе асиметричне мембране малог порозитета.

Мембране се након производње слажу у мембранске модуле који се састоје од саме мембране, кућишта и носача мембране, као и система за довод воде и одвод пермеата и концентрата. Постоји више врста мембранских модула од којих су најважнији [2]:

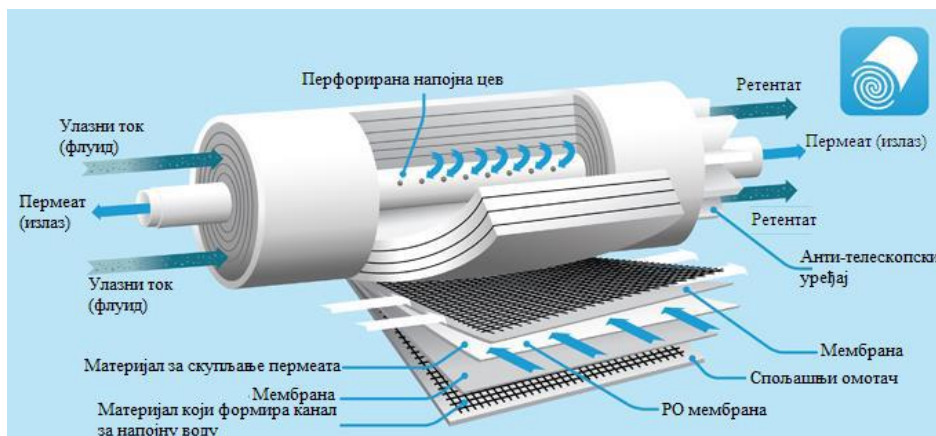
- 1) Модул са спиралним намотајем
- 2) Плочасти модул
- 3) Модул са шупљим влакнима
- 4) Цевни модул

1) **Спирално намотани модули** (слика 10) су састављени од два правоугаона мембранска платна која су раздвојена са трећим платном од порозног материјала. Три ивице овог такозваног “мембранског сендвич” су залепљене, док је четврта ивица залепљена за једну шупљу цев са подужним прорезом. Цео “мембрански сендвич” је намотан спирално око ове цеви тако да она заузима централни положај, док сендвич састављен од мембрана и порозног платна чини омотач мембранског елемента. Овако сачињени модули се стављају у специјалне цеви од плексигласа које имају по један отвор на оба краја. Један отвор служи за напајање сировом водом, док други служи за испуштање концентрата.

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

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

Више кућишта се групише у још веће јединице, мембранске батерије. Кућишта унутар једне батерије могу да имају паралелан или серијски распоред, или што је најчешћи случај, могу да буду комбинација ова два распореда. Паралелан распоред се најчешће користи за УФ и МФ филтрацију где због система прања, рецикулација концентрата није неопходна да би се остварило захтевано пречишћавање [4].



Слика 10: Спирално намотани модул [4]

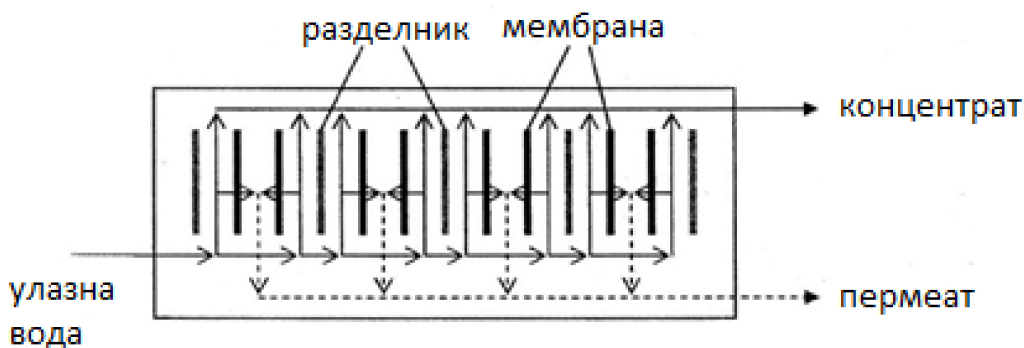
2) Плочасти модул (слика 11) - Серије равних мембранских површина и плоча које обезбеђују њихово ослањање смештене су у такозвани плочасти модул. У њему вода циркулише између две мембране ослоњена на плоче које истовремено обезбеђују дренажање чисте воде. Концентрат прелази из једног рама у други, док се не достигне жељена концентрација.

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

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

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

Код плочастих филтера улазна вода улази између сваке од мембрана и разделника, пермеат пролази кроз мембране, а вода која не прође кроз мембрану као концентрат се одводи са мембране [4].



Слика 11: Плочасти модул [3]

3) Модули са шупљим влакнима се састоје од снопова мембранских влакана (од хиљаду до милион) чији су крајеви уливени у епоксидне смоле. Модул са шупљим влакнима приказан је на слици 12. На слици је приказано увећано шупље влакно тако да се види шупљина у влакну и порозно влакно. У зависности од смера филтрације постоје два типа модула са шупљим влакнима односно два типа филтрације:

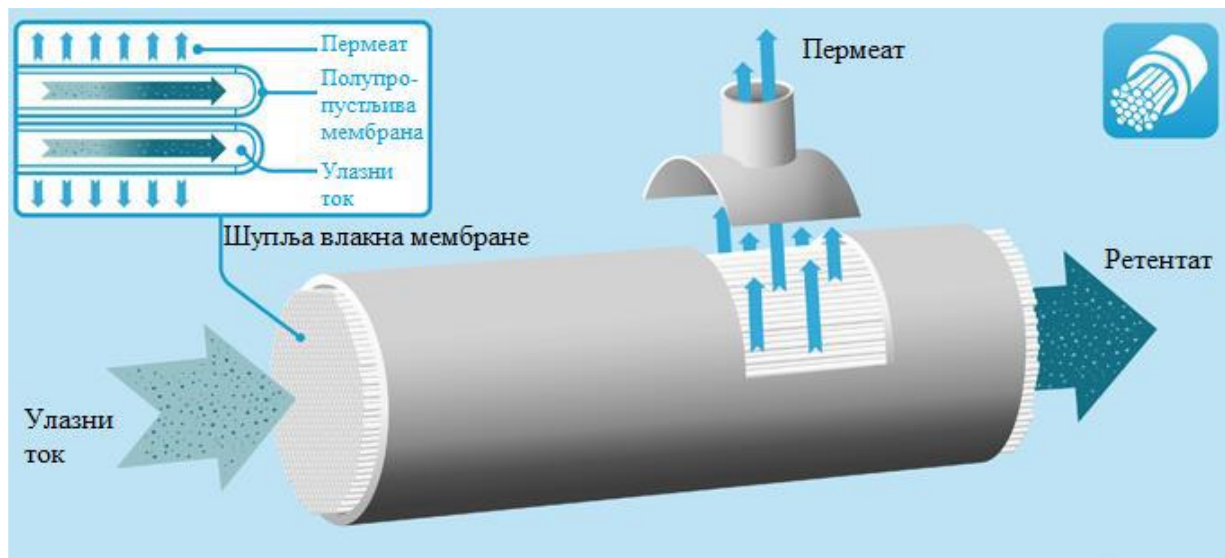
- споља – ка – унутра,
- унутра – ка – споља.

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

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

На слици 12 дат је шематски приказ кроз мембрански модул са шупљим влакном као и крајеви модула уливени у епоксидне смоле. УФ модули са шупљим влакнима имају укупну површину по јединици запремине од $1.000 \text{ m}^2/\text{m}^3$, док РО модули могу да имају чак и до $10.000 \text{ m}^2/\text{m}^3$.

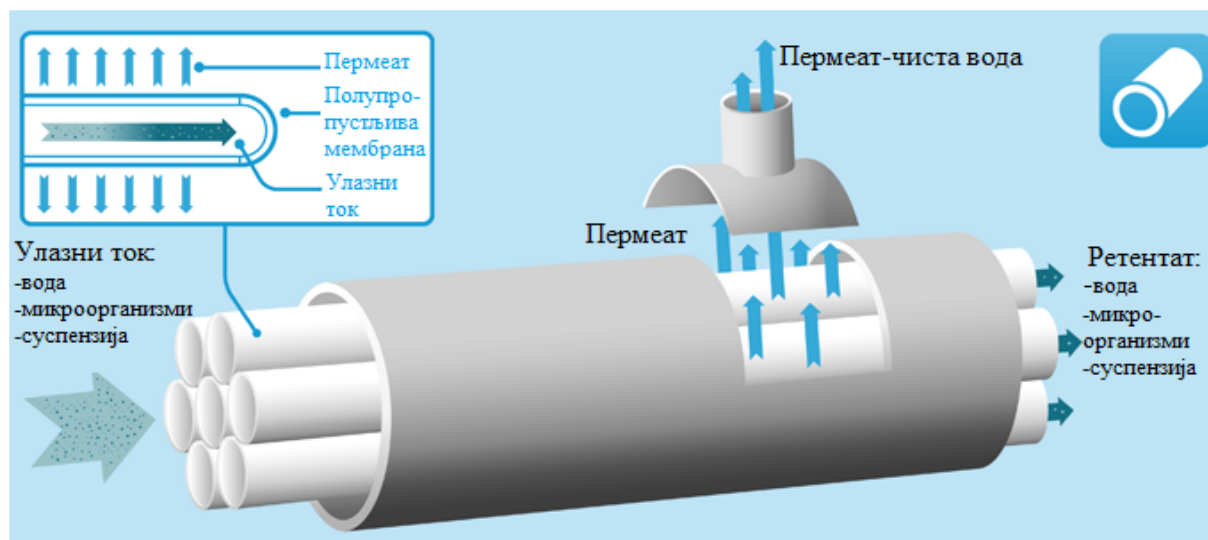
Модул са шупљим влакнима се најчешће користи за десалинацију морске воде. Састоји се од цеви, које садрже шупља влакна, као што је приказано на слици 12. Скупина шупљих цеви савијена је у облику слова *U* и чини сноп. Како млаз прелази преко спољашње површине шупљих влакана, пермеат пролази од споља ка унутра [4].



Слика 12: Модул са шупљим влакнима [4]

4) Цевни модули (слика 13) су најједноставнија конфигурација мембранских елемената. Праве се тако што се са унутрашње порозне цеви, која служи као подлога, улије мембрански материјал. Пречник цеви се креће од 6 mm до 40 mm, што даје филтрациону површину мембране од 0,2 до $7,5 \text{ m}^2/\text{m}^3$.

Више цевних модула (3 – 150) се групише у једну процесну јединицу која има потребне елементе за напајање сировом водом и за одвођење концентрата пречишћене воде. Главна предност ових модула је потпуно јасна хидраулика, лако и једноставно чишћење и одсуство потребе за посебним предтретманом сирове воде. Главна мана је у малој филтрационој површини по јединици запремине модула што чини системе са овим типом модула релативно скупим [4].



Слика 13: Цевни модули [4]

3.1.1 Материјал мембране

Мембране се могу произвести од великог броја материјала, а најлакше их је поделити на мембране произведене од органских полимера и на неорганске мембране. У пракси су много заступљеније полимерне мембране. Полимери који се употребљавају за производњу мембрана, наведени су у табели 1 [3].

Табела 1: Полимерни материјали за израду мембрана [3]

Полимер	Процес
Поликарбонат	MF
Поливинилиден-флуорид	MF, UF
Полипропилен	MF
Полиамид	MF, UF, NF, RO
Целулозни естери	MF, UF, NF, RO
Полисулфон	MF, UF, RO
Политетрафлуороетилен	MF
Полиакрилонитрил	UF

Полимери за израду мембрана морају да поседују способност што веће сепарације, механичку отпорност, као и хемијску отпорност највише због средстава за чишћење

мембрана. Осим тога, бројним модификацијама основног полимера мењају се својства самог полимера да би се добиле жељене карактеристике мембране тако да мембране од истог материјала могу имати различита својства.

Неоргански материјали који се користе за израду мембрана су керамика, стакло и метал, од чега се у пракси највише користи керамика. Керамичке мембране се праве од металних оксида алуминијума, титана, силицијума чиме се добија хомогени порозни материјал са величином пора од 0,01-10 μm . Керамичке мембране могу издржати високе температуре и врло су отпорне на хемијско разарање, па се могу користити код процеса где је потребно чишћење мембрана агресивним средствима. Осим тога, век трајања таквих мембрана је знатно дужи. Ипак, керамичке мембране су са становишта цене и економске исплативости знатно скупље, па се користе углавном у случајевима где се полимерне мембране не могу употребљавати.

Постоји пуно аспеката при одабиру материјала мембране, а оно што њу чини погодном јесте да је физички издржива на велики притисак воде, да има велики флуks без запушавања и прљања површине, да буде хемијски отпорна, биолошки неразградљива, а при томе јефтина. Неколико различитих материјала за прављење мембрана за припрему воде задовољава ове услове: ацетат целулозе, полипропилен, поливинилиден-флуорид, полисулфон и полиетерсулфон.

Синтетичке мембране се производе од различитих органских полимера или од неорганских материјала као што су стакло, керамика или метали. Само неки од познатих полимера за прављење мембрана се могу користити за третман воде за пиће.

Целулозни ацетати су међу првим полимерима који су коришћени за производњу мембрана за реверзну осмозу. Главна предност ових мембрана је у њиховој хидрофилности, отпорне су на хлор, економски су исплативе и имају малу тенденцију адсорпције. Са друге стране, мембране састављене од целулозних ацетата су осетљиве на киселу и алкалну хидролизу, температуру и биодеградацију.

Данас најчешће употребљавани материјали за производњу мембрана за реверзну осмозу и нанофилтрацију су композитни полимери. Ове мембране се праве полимеризацијом једног реактивног мономера или приполимера са другим реактивним мономером. Главна предност композитних мембрана је у смањеном трансмембранском притиску, изузетној хемијској, термичкој и механичкој стабилности и отпорности на биодеградацију. Међутим, ове композитне мембране су осетљиве на хлор, што ограничава њихову употребу [3].

3.1.2 Параметри ефикасности мембрана

Ефикасност мембранског система искључиво зависи од степена уклањања суспендованих и растворених материја. Уклањање непожељних супстанци у јонском и молекуларном облику на РО мембранама је углавном функција различите интеракције између супстанци и мембране у односу на електрохемијску привлачност између воде и мембране.

Флукс је мера ефикасности производње пречишћене воде, односно количина воде која се исфилтрира по јединици површине мембране у јединици времена. Флукс је директно пропорционалан трансмембранском притиску, а обрнуто пропорционалан вискозности воде и хидрауличким отпорима течењу кроз поре мембране. Величина трансмембранског притиска је функција осмотског притиска раствора који се филтрира и количине нагомиланих честица на површини мембране.

Флукс пермеата директно одређује капацитет процеса, и зато је битно да вредност флука буде што већа [4].

$$F = \frac{\Delta p \cdot \beta}{\mu \cdot l} \quad (8)$$

где су:

- F – флукс ($\text{l/m}^2/\text{h}$)
- Δp – пад притиска кроз мембрану (трансмембрански притисак) (bar)
- β – пропустљивост гел слоја (l/m^2)
- μ – вискозитет флуида ($\text{kg/m} \cdot \text{s}$)
- l – дебљина гел слоја (m)

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

$$F = \frac{A \cdot (\Delta p - \Delta \pi)}{\Delta X} \quad (9)$$

где су:

- F – флукс ($\text{l/m}^2/\text{h}$)
- A – константа која зависи од особина мембране, флука и раствора ($\text{l/h} \cdot \text{m} \cdot \text{bar}$)
- Δp – пад притиска кроз мембрану (трансмембрански притисак) (bar)
- $\Delta \pi$ – разлика осмотских притисака флуида и пермеата (bar)
- ΔX – дебљина мембране (m)

Ефикасност мембрана је функција бројних параметара који карактеришу саму мембрану и квалитет сирове воде која се доводи на пречишћавање. У битне карактеристике мембране убрајају се њене површинске карактеристике и величина пора.

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

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

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

4. Примена реверзне осмозе у процесима десалинације

Примена реверзне осмозе у процесима добијања воде за пиће, процентуално, је распоређена на следећи начин:

- 50% - морска и слана вода,
- 40% - производња ултра чисте воде за електронску као и фармацеутску индустрију,
- 10% - у урбаним срединама.

Десалинација слане воде

Салинитет ове врсте воде је 2000 mg/l – 10000 mg/l. Потребни радни притисци постројења, како би се постигао салинитет од 500 mg/l, су 14-21 bar-а. Користи се спирални мембрански модул. Трошкови су око 0,25 \$US/l третиране воде/дан, при чему су оперативни трошкови еквивалентни.

Десалинација морске воде

Зависно од географског положаја, салинитет ове врсте воде је 30000 mg/l – 40000 mg/l. Користе се мембране са шупљим влакнима, а радни притисци који су потребни су 50-70 bar-а. Процењени оперативни трошкови за ову врсту постројења се крећу око 1,25 \$US/l третиране воде/дан, што значи да овај систем није конкурентан у односу на друге системе као што су вишестепени процеси испаравања ако је потребно обезбедити 40000 m³ третиране воде/дан.

Производња ултра чисте воде

Захтевани салинитет ове врсте воде је испод 200 mg/l. Главни проблем са овом врстом инсталације је био-контаминација мембрана, због чега је неопходна инсталација система за стерилизацију који користе УВ зрачење.

Третман отпадних вода

Употреба реверзне осмозе у третману отпадних вода је ограничена високим оперативним трошковима због проблема контаминације мембрана. У случају индустријских отпадних вода, РО се користи у оним индустријама где је могуће побољшати ефикасност процеса рекуперацијом вредних компоненти које се могу рециклирати у производном процесу: боје за металне структуре или где поновна употреба третиране воде доводи до значајног смањења потрошње воде, нпр. текстилна индустрија.

У случају воде из урбаних средина, РО је третман који би се назначио као терцијерни третман. Главни проблем консолидације овог начина третирања јесте друштвена реакција. Ипак, у подручјима Јапана и Калифорније, где постоје екстремна ограничења воде, користи се реверзна осмоза за третман воде из урбаних средина, при чему се третирана вода користи за пуњење ресурса подземних вода.

У третману отпадних вода, реверзна осмоза је технологија пречишћавања воде која као и ултрафилтрација користи семипермеабилну мембрану за уклањање већих честица из воде за пиће. Али код РО, примењени притисак се користи за превазилажење осмотског притиска.

Реверзна осмоза уклања многе врсте молекула и јона укључујући и бактерије, па се као таква користи и у индустрији и у производњи питке воде.

Већина инсталација РО користи унакрсни проток да би се мембрана стално чистила.

Постројења реверзне осмозе, у индустријским и комерцијалним применама, где се захтевају велике количине третиране воде, са високим нивоом чистоће, раде са радним притисцима од 7-70 bar-а, у зависности од одабраних мембрана и квалитета третиране воде. Већина комерцијалних и индустријских примена користи више мембрана у серији [5].

5. Примена реверзне осмозе у индустрији

Реверзна осмоза налази све ширу примену у индустрији и постаје једна од најважнијих технологија за производњу чисте воде. Било да се ради о производњи воде за напајање котлова, производњи пијаће воде, воде високе чистоће за разне индустријске процесе, системи реверзне осмозе се данас користе у скоро свим гранама индустрије. Предности реверзне осмозе се огледају у компактном дизајну, лакоћи управљања процесом, брзој расположивости воде високе чистоће, једноставном повећању капацитета производње. Индустријске апликације имају производњу пермеата од $1 - 2 \text{ m}^3/\text{h}$ до $1.000 \text{ m}^3/\text{h}$ и више. Тренутно највеће постројење на Свету има капацитет од $26.000 \text{ m}^3/\text{h}$. Уређај (слика 14) је могуће инсталирати готово свуда као замену за конвенционалне третмане пречишћавања.

Постројење реверзне осмозе може пречишћавати разне типове задрљане воде, као што су површинске речне воде, бунарске воде, морске воде као и отпадне воде различитог порекла. Свака од ових вода има специфичне хемијске карактеристике, органске и неорганске полутанте и за правилан рад постројења потребно је познавати ове карактеристике, као и процесне параметре система. Поред свих предности, проблеми који се јављају у раду оваквог постројења везани су за могуће стварање наслага соли, запушења услед микробиолошке контаминације, као и негативно дејство разних полутаната на мембране [6].



Слика 14: Систем реверзне осмозе [6]

5.1 Аутомобилска индустрија

Реверзна осмоза и омекшавање воде имају кључну улогу у многим аспектима аутомобилске индустрије. Од иницијалног наношења слоја боје до квалитета воде у савременим аутоперионицама. Реверзна осмоза и омекшивачи воде осигуравају довољну количину висококвалитетне воде и омогућавају исплатива решења за произвођаче аутомобила, власнике аутомобила или власнике аутоперионица.

Најчешћа примена реверзне осмозе и омекшивача воде у аутоиндустрији су аутоперионице. Аутоперионице (слика 15) могу користити огромне количине воде дневно, а способност ефикасне обраде воде и безбедног уклањања отпадне воде је кључна.



Слика 15: Приказ аутоперионице [8]

Без употребе прописно обрађене воде приликом испирања возила, минерали и други нежељени загађивачи воде могу оставити трагове воде на аутомобилима након испирања. То је сметња власницима кола као и менаџерима аутоперионица. Техника реверзне осмозе у аутоперионицама не функционише само у отклањању штетних соли из воде које остављају флеке, већ и омогућава исплатив начин рециклирања отпадне воде без оштећења животне околине, а при том продужава век трајања опреме и цеви.

Многи велики произвођачи аутомобила у аутоиндустрији такође прихватају технику реверзне осмозе како би смањили трошкове и испоштовали бригу о животној околини. Пре него што нанесу слој фарбе, произвођачи возила полирају возило и затим наносе спреј како би осигурали чисто наношење боје. Током овог процеса, хемикалије попут олова, никла, цинка и кадмијума могу процурити кроз одводе чак до река. Употреба реверзне осмозе контролише количину воде која се искористи приликом процеса фарбања возила и такође уклања штетне загађиваче из воде пре употребе и пре одбацивања отпадне воде.

Техника реверзне осмозе обезбеђује поуздано и исплативо решење за произвођаче аутомобила као и за руководиоце аутоперионица. Поре у систему реверзне осмозе функционишу тако што отклањају штетне примесе из сирове воде, пропуштајући само најмање молекуле чисте воде. Реверзна осмоза уклања примесе које могу бити штетне за аутомобил и омогућава исплативу стратегију за обраду и поновно коришћење отпадне воде уместо њеног испуштања кроз одвод. Многи произвођачи користе поново отпадну воду и на тај начин смањују количину воде која се одбацује као и количину купљене воде неопходне за одвијање процеса.

Вода високог квалитета игра кључну улогу у аутоиндустрији. Како се развијају нове технике реверзне осмозе и пуштају на тржиште, очекивања исплативих решења ефикасне обраде воде у аутоиндустрији су висока. Произвођачи аутомобила и руководиоци аутоперионица су у могућности да испоштују бригу о животној околини уз употребу технике реверзне осмозе. Такође су у позицији да обезбеде најбољи квалитет воде за потребе фарбања и потребе аутоперионица [7].

5.2 Здравство и медицина

Техника реверзне осмозе за обраду воде игра важну улогу у многим сегментима здравства и медицине. Када је потражња за чистом и бистром водом велика, реверзна осмоза је идеална техника за обезбеђивање високог учинка пречишћавања воде на дневној бази уз уштеду.

Дијализа је једна од процеса у медицини у којој су залихе најчистије воде кључне. Дијализа уклања вишак течности и отпада из крви појединаца чији бубрези не филтрирају крв како је потребно. Вода за дијализу треба да буде идеално чиста (физички, хемијски и биолошки) како не би дошло до испољавања нежељених последица због супстанција у вишку или бактериолошке контаминације. Значај чисте воде у дијализи огледа се у чињеници да болесник на хемодијализи за четири сата дође у директан контакт са 120 литара воде. Референтни стандарди посебно строго дефинишу квалитет воде за ове потребе.

У здравству, лекари користе технику реверзне осмозе у бројним аспектима који омогућавају боље здравље и знатне добробити за пацијенте. Један пример тога је примена пејсмејкера. Микрочипови употребљени за пејсмејкере су направљени уз помоћ реверзне осмозе која осигурава да су компоненте заштићене од оштећења у процесу производње. Производња микрочипова резултира великом количином отпадне воде која садржи метале и друге загађиваче. Реверзна осмоза ефикасно обрађује отпадну воду, снижавајући трошкове и штитећи опрему и цеви.

Технику реверзне осмозе за обраду воде има широку примену у медицини и здравству. Системи који раде на овом принципу користе се у микробиолошким лабораторијама, стоматолошким ординацијама и у многим другим областима медицине [8].

5.3 Индустрија пића

Обрада воде реверзном осмозом користи се у великој мери и у индустрији производње пића. Индустрије производње пића користе реверзну осмозу јер је то најефикаснија метода пречишћавања воде. Процес реверзне осмозе је ефикасан у уклањању уобичајених нечистоћа из воде, укључујући јоне који формирају соли, штетне бактерије и практично све друге загађиваче. У глобалу, реверзна осмоза смањује ниво ТДС (укупан број растопљених материја у води) на минимум.

Укус, а понекад и друге карактеристике пића у великој мери зависе од воде јер је она по правилу главни састојак у производњи пића. Од велике је важности да вода испуњава константни стандард како би се одржала и константност укуса, мириса као и визуелни изглед финалног производа.

Нажалост, квалитет сирове воде било да је она градска, бунарска или из неког другог извора није увек константног и задовољавајућег квалитета. Количина растопљених материја, односно разних примеса се разликује од једне до друге. Имајући у виду ове чињенице, важно је на поуздан и квалитетан начин припремати воду за производне процесе. Метод филтрирања воде реверзном осмозом је идеалан за ове сврхе јер обезбеђује константност и квалитет потребан за производњу пића.

Издржљивост мембрана реверзне осмозе је идеална за обраду воде са високим нивоом ТДС. Поред њихове издржљивости, системи реверзне осмозе су такође флексибилни и могу се подесити за било који потребан ниво филтрирања за било који довод воде.

Системи реверзне осмозе могу филтрирати све изворе воде, укључујући свежу воду, слану воду, градску воду или чак морску воду. Мембране реверзне осмозе се састоје од густих полимерних матричних слојева. Ови слојеви су пажљиво дизајнирани да филтрирају и уклањају и најситније примесе као што су вируси и бактерије. Мембране заправо задржавају и до 99.9% растворених материја у води већих од 0.0001 μm .

Тврдоћа воде је још једно питање које се поставља у производњи пића, а на које реверзна осмоза може да одговори омекшавањем воде. Систем реверзне осмозе постиже ово одбацујући из воде елементе који доприносе њеној тврдоћи. Ти елементи које реверзне осмозе одбацује укључују бакар, манган, гвожђе, калцијум и магнезијум. Уз способност

смањења тврдоће, реверзна осмоза такође одбацује јако наелектрисане материје као што су анјони који стварају наслаге соли.

Процес реверсне осмозе се користи у следећим индустријама:

- Пиваре,
- Флаширана вода,
- Млекаре,
- Производња хране,
- Пекаре,
- У процесима добијања леда,
- Послуживање хране,
- Микропиваре,
- Вода из апарата,
- Вода за пиће,
- Винске анализе,
- Производња пића,
- Храна и пиће,
- ПОЕ – Припрема на месту уласка воде,
- ПОУ – припрема на месту употребе,
- Продавнице воде-опрема за флаширање.

Употреба реверзне осмозе ради обраде воде за испирање омогућава ова решења и потребно је мање воде за испирање. Производња безалкохолних пића такође може бити јефтинија. Безалкохолна пића се праве мешањем концентрата и заслађивача са водом. Што је вода чистија, мање је концентрата потребно за производњу безалкохолних пића. Свестраност система реверзне осмозе се види у производњи безалкохолног пива и вина. Систем реверзне осмозе није ограничен само на филтрирање растопљених материја и бактерија; он такође може отклонити и алкохол, чиме доприноси ширењу тржишта благоалкохолних и безалкохолних пива и вина [7].

5.3.1 Пиваре

Иако корисници највише пажње обраћају на укус и садржај алкохола у пиву, произвођачи знају да највећи проценат њиховог производа чини вода. Вода чини њихове производе јединственим на тржишту. На пример, Плзенски регион у Чешкој је добро познат по производњи пива, тамно златног лагера са свежим укусом хмеља. Ова врста пива се једноставно производи због ниске алкалности воде Плзенског региона при чему је потребно врло мало слада да би се подесила рН вредност како би била у идеалном опсегу. Насупрот

овом случају, у Даблину се користи вода много више вредности за алкалитет, па је потребно искористити тамнији слад за подешавање рН вредности.

У традиционалним пиварама се одувек узимао у обзир квалитет воде, чак и пре разумевања утицаја рН вредности. Данас је познато да тамнији слад има нижу рН вредност која се брже мења него код светлог слада. Услед ових разлика, мора се модификовати рецептура или извор воде како би се осигурао константан квалитет крајњег производа. Као резултат, сви произвођачи, аматери и професионалци придају велики значај контроли квалитета воде.

Поред рН и алкалитета, за квалитет воде су важни и други параметри. У многим пиварама користе воду са чесме која садржи хлор који даје одређени укус пиву, а може и успорити процес ферментације. Овај ефекат се уочава чак и при концентрацијама хлора од 0,5 mg/L.

За потребе производње, у пиварама се користе системи са реверзном осмозом како би се уклонио хлор и снизио садржај минерала за 90%. Реверзна осмоза се заснива на филтрацији воде кроз полупропустљиву мембрану при чему се уклањају јони, молекули и веће честице. На овај начин се може добити вода тачно одређеног састава јер се након прећишћавања могу додати само жељени минерали. Подешавањем састава, може се производити чешки тип пива иако се не користи вода из Плзена [8].

6. Прорачун једног постројења

6.1 Основне једначине за прорачун једног постројења

Осмотски притисак се може одредити индиректно мерењем растворене соли у раствору [1]:

$$p_{osm} = R(T + 273) \sum m_i \quad (10)$$

где је:

- p_{osm} – осмотски притисак (bar)
- R – универзална гасна константа (0.082 l atm/mol °K)
- T – температура (°C)
- $\sum(m_i)$ – сума моларних концентрација свих супстанци

Опоравак пермеата представља један од важнијих параметара при пројектовању и раду РО система јер утиче на пролаз соли кроз мембрану. Стопа опоравка пермеата се дефинише следећом једначином [1]:

$$R = 100\% (Q_p / Q_f) \quad (11)$$

$$R = 100\% (Q_p / (Q_p + Q_c)) \quad (12)$$

- R – коефицијент опоравка (%)
- Q_p – проток воде
- Q_f – проток напојне воде
- Q_c – проток концентрата

NDP (*The net driving pressure*) представља покретачку снагу воде која пролази кроз семипермеабилну мембрану. Увек се дефинише као просечна вредност због различитости дуж мембранске јединице [1]:

$$NDP = p_f - p_{os} - p_p - 0.5p_d (+p_{osp}) \quad (13)$$

- p_f – притисак воде која потхрањује систем
- p_{os} – просечни осмотски притисак воде која потхрањује систем
- p_p – притисак пермеата
- p_d – пад притиска кроз РО елементе
- p_{osp} – осмотски притисак пермеата

Проток воде кроз семипермеабилну мембрану је дефинисан следећом једначином [1]:

$$Q_w = (\Delta p - \Delta p_{osm}) K_w (S/d) \quad (14)$$

- Q_w – Проток воде кроз мембрану
- Δp – хидраулични диференцијални притисак кроз мембрану
- Δp_{osm} – осмотски диференцијални притисак кроз мембрану
- K_w – коефицијент пропустљивости воде кроз мембрану
- S – површина мембране
- d – дебљина мембране

Коефицијент протока соли кроз мембрану [1]:

$$Q_s = \Delta C K_s (S/d) \quad (15)$$

- Q_s – проток соли кроз мембрану
- ΔC – диференцијална концентрација соли кроз мембрану
- K_s – коефицијент проласка соли кроз мембрану
- S – површина мембране
- d – дебљина мембране

На основу претходних једначина, салинитет пермеата зависи од брзине транспорта воде и коефицијента пролаза соли кроз мембрану [1]:

$$C_p = Q_s / Q_w \quad (16)$$

- C_p – салинитет пермеата
- Q_s – проток соли кроз мембрану
- Q_w – проток воде кроз мембрану

Пролаз соли се дефинише као однос салинитета пермеата и просечне концентрације воде која потхрањује [1]

$$SP = 100\% (C_p / C_{fm}) \quad (17)$$

- SP – пролаз соли кроз мембрану (%)
- C_p – салинитет пермеата
- C_{fm} – средња концентрација соли у току струјања

Одбацивање соли је супротно од проласка соли и дефинише се као [1]:

$$SR = 100\% - SP \quad (18)$$

- SR – одбацивање соли (%)
- SP – пролаз соли кроз мембрану (%)

Фактор корекције температуре [1]:

$$TCF = 1/\exp (C (1/(273 + t) - 1/298)) \quad (19)$$

- C – константа, карактеристика материјала мембране (за полиамиде 2500-3000)
- t - уобичајена радна температура РО система (обично 25 °C)

Просечни флуks пермеата (служи при дизајнирању РО система) [1]:

$$APF = Q_p/(EN \cdot MA) \quad (20)$$

- Q_p – проток пермеата
- EN – број елемената у систему
- MA – површина елемента мембране

Специфична пропустљивост мембране [1]:

$$SF = APF/NDP \quad (21)$$

- APF – просечни флуks пермеата
- NDP – покретачка снага воде

6.2 Прорачун РО система

Главни приступ при пројектовању система за реверзну осмозу јесте израчунавање протока пермеата, као и однос салинитета између сирове воде и пермеата.

Израчунавање појединачних ставки за основну конфигурацију система се може ручно извршити, али за понављање прорачуна тј, оптимизацију процеса потребно је користити софтвере.

Ручни прорачун се састоји од следећих корака [1]:

1. У зависности од изабране мембране одредити флуks пермеата.
2. Израчунавање специфичне пропустљивости изабраног мембранског елемента.
3. На основу добијених резултата из претходних корака, рачуна се разлика притиска сирове воде и осмотског притиска.
4. На основу сирове воде се израчуна просечни салинитет.
5. Прорачун просечног осмотског притиска.
6. Претпоставке везане за пад притиска.
7. Прорачун притиска сирове воде.
8. Прорачун салинитета пермеата.

Пример прорачуна биће приказан на двостепеном систему реверзне осмозе [1]. Усвојени су полазни параметри као: салинитет сирове воде 2500 ppm TDS, коефицијент конверзије 85%, флуks 27.2 l/m²h, температура сирове воде 25 °C и

- површина мембране 36.8 m²,
- номинални проток 34.07 m³/d , притисак 10.3 bar
- коефицијент уклањања соли 99,6% флуks 38.6 l /m²h
- номинални салинитет сирове воде 1500 ppm NaCl, коефицијент конверзије 15%
- средњи салинитет сирове воде: $1500 \times 0.5 (1 + 1/(1 - 0.15)) = 1632 \text{ ppm NaCl}$
- просечни осмотски притисак сирове воде 1.25 bar
- номинални притисак: $10.3 - 1.25 = 9.05 \text{ bar}$
- специфична пермабилност: $38.6/9.05 = 4.26 \text{ l/m}^2\text{h}$
- захтевани притисак система: $27.2/4.26 = 6.4 \text{ bar}$
- притисак у првом степену 2 bar у другом 4 bar
- поврати притисак пермеата: 0.5 bar
- салинитет сирове воде 2500 ppm TDS а осмотски притисак 1.9 bar
- просечни осмотски притисак сирове воде: $1.9 \times 0.5(1 + 1/(1 - 0.85)) = 7.3 \text{ bar}$
- захтевани притисак система сирове воде: $6.4 + 7.3 + 4 + 0.5 = 18.2 \text{ bar}$
- салинитет пермеата:

- Просечан салинитет сирове воде $0.5(2500 + 2500/(1 - 0.85)) = 9583\text{ppm}$
- Салинитет пермеата $9583(1-99.6/100) (38.6/27.2) = 54\text{ ppm}$

Салинитет пермеата је функција средње вредности сирове воде и флукса пермеата упоређена са номиналним флуksom.

6.3 3D Модел РО система

Процес третмана је дизајниран тако да задовољи највише стандарде са најсавременијим технологијама у области третмана воде. Процес се састоји од пет фаза:

- 1) Филтрирање са улазним резервоаром
- 2) Ултрафилтрација
- 3) Дозирање хемикалија
- 4) Систем реверзне осмозе
- 5) рН корекција

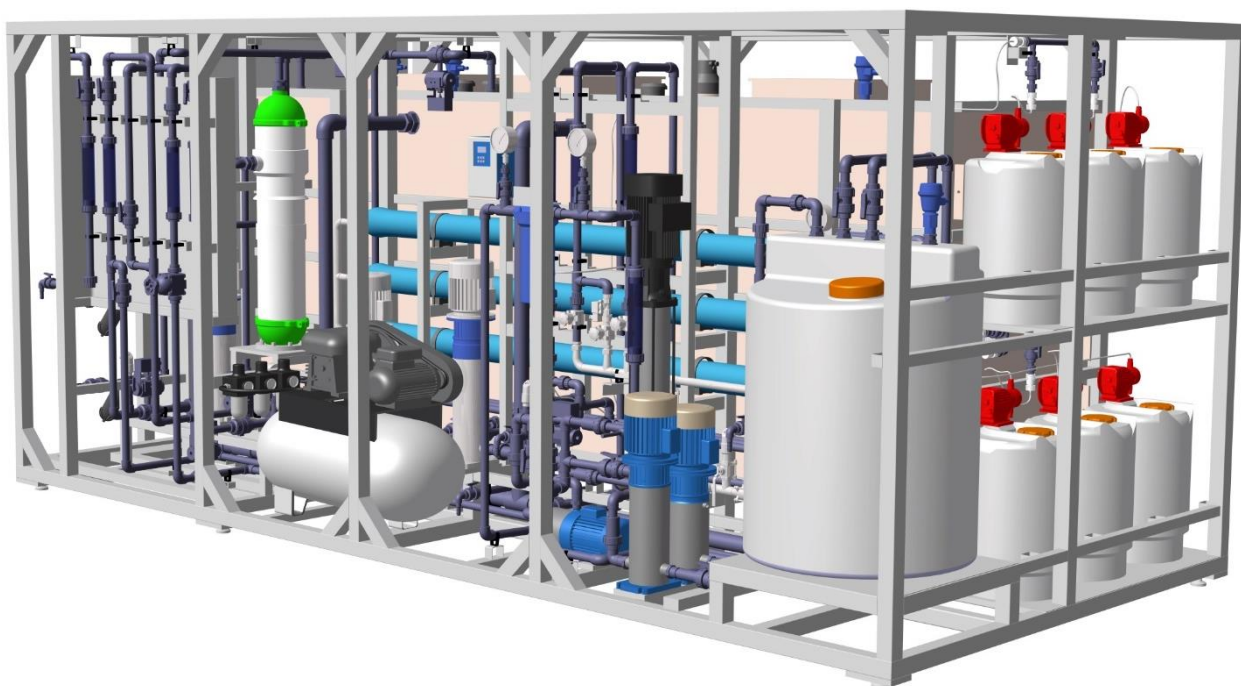
Систем има централну јединицу за чишћење са системом за дозирање свих хемикалија потребних у процесу чишћења. Све јединице, укључујући резервоаре, пумпе, компресоре, цеви, су монтиране на конструкцију од нерђајућег челика и габарити целокупног система износе 5000x2200x2200mm. Површина филтрационе јединице је 160 cm², максималног протока 6m³/h. Предности оваквог филтера су: његова велика површина, једноставан за коришћење, једноставна инсталација и могућност прикључивања манометара. Након филтера се налази резервоар (1000x1000x1500mm), који обезбеђује континуирани проток, са свим регулационим вентилима, затворен је, тако да је онемогућено улажење нежељених честица. Затим, иде систем ултрафилтрације (216x250mm, максималног притиска 2,5 bar-a) како би се осигурао одличан квалитет доводне воде на РО модул. Она одбацује честице, патогене, али смањује и замућеност. Систем ултрафилтрације потхрањује пумпа чији је проток до 2, 5 bar-a, а пумпа која обезбеђује чишћење је капацитета од 1,5 bar-a као и неопходни резервоар (1000x1000x1500). На крају, налази се двостепени РО модул са 6 елемената, површине 43,48 m², притиска воде на улазу 22.41 bar-a и температуре 25 °C. рН корекција је потребна на крају како би се добио жељени квалитет воде.

Табела 2: Елементи који се уклањају из процеса

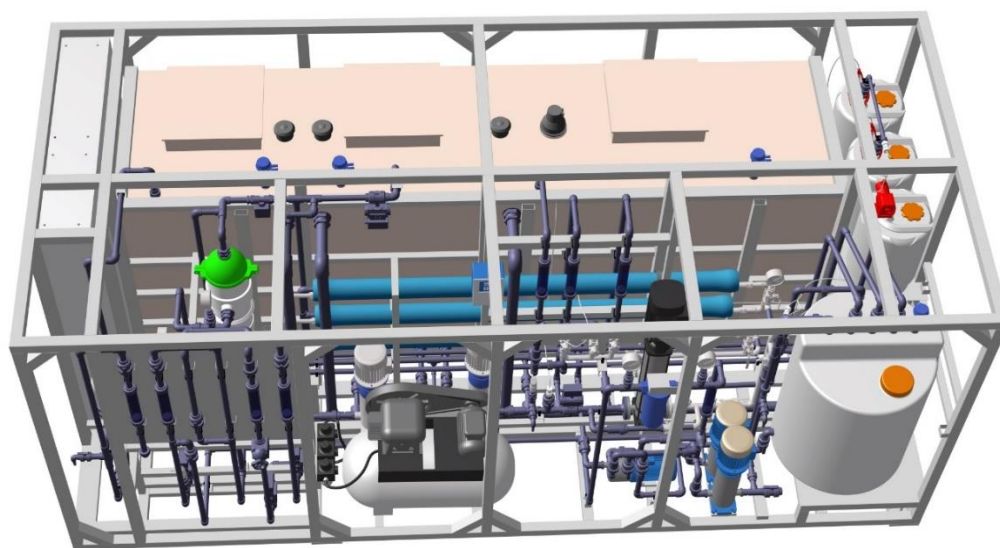
Карактеристике воде на излазу (mg/l)								
Име	Напајање	Напајање		Концентрат		Пермеат		
		Почетно	Након пролаза	Фаза 1	Фаза 2	Фаза 1	Фаза 2	Укупно
NH ₄	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	52.00	52.00	65.44	96.02	114.31	0.87	1.54	1.04
Na	3095.00	3097.28	3898.88	5722.08	6813.22	48.89	84.48	57.97
Mg	195.00	195.00	246.06	362.02	431.72	1.17	1.91	1.36
Ca	740.00	740.00	933.79	1373.96	1638.51	4.30	7.10	5.01
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₃	2.85	2.85	4.55	9.02	12.27	0.00	0.00	0.00
HCO ₃	175.00	175.00	218.20	315.25	372.12	3.41	5.65	3.98
NO ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	4229.00	4229.00	5322.95	7811.26	9300.08	68.47	118.98	81.35
F	2.00	2.00	2.52	3.69	4.39	0.04	0.07	0.05
SO ₄	3200.00	3200.00	4036.79	5937.73	7079.77	22.64	37.13	26.34
SiO ₂	10.00	10.00	12.61	18.54	22.11	0.08	0.14	0.10
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	3.19	3.19	3.63	5.22	6.30	3.82	5.27	4.19
TDS	11700.86	11703.14	14741.80	21649.57	25788.50	149.88	256.99	177.20
pH	7.60	7.60	7.61	7.56	7.52	6.11	6.17	6.13



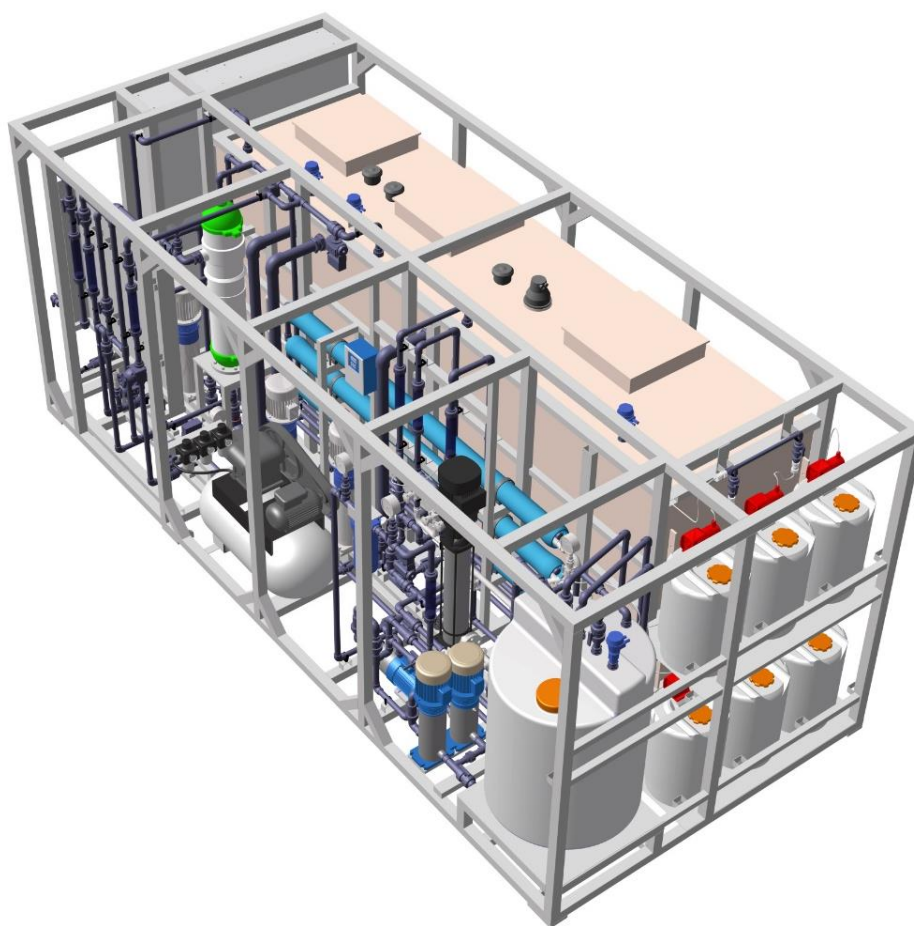
Слика 16: Приказ 3D модела РО система рађеног у софтверу Catia



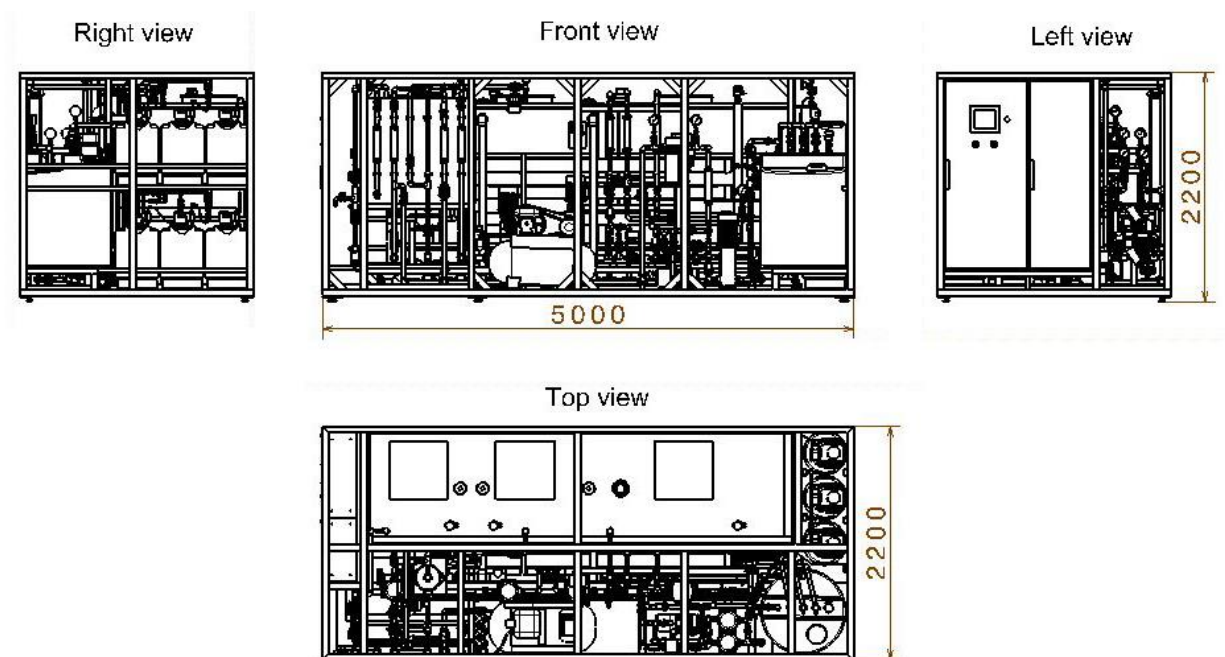
Слика 17: Приказ 3D модела РО система рађеног у софтверу Catia



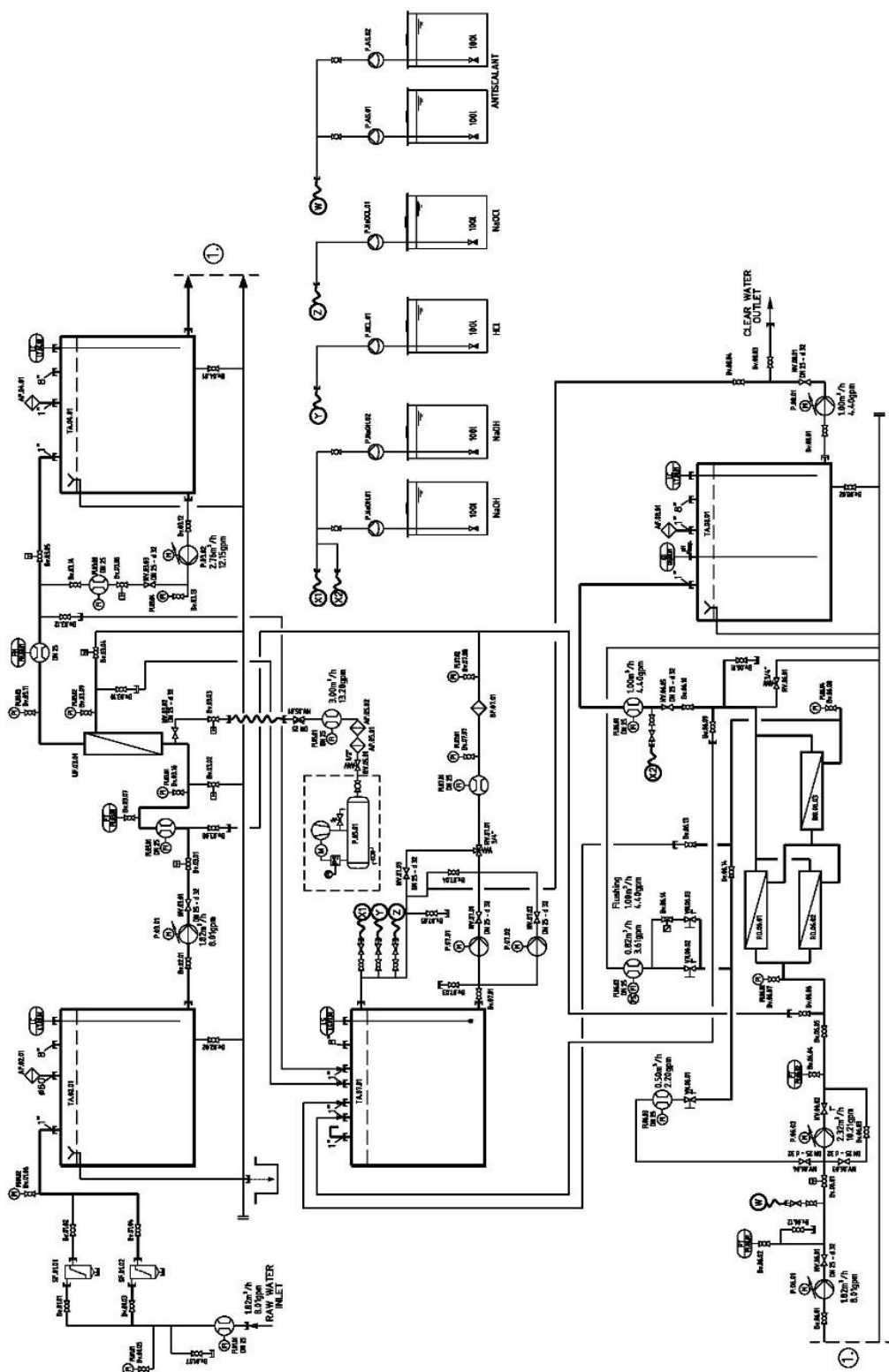
Слика 18: Приказ 3D модела РО система рађеног у софтверу Catia



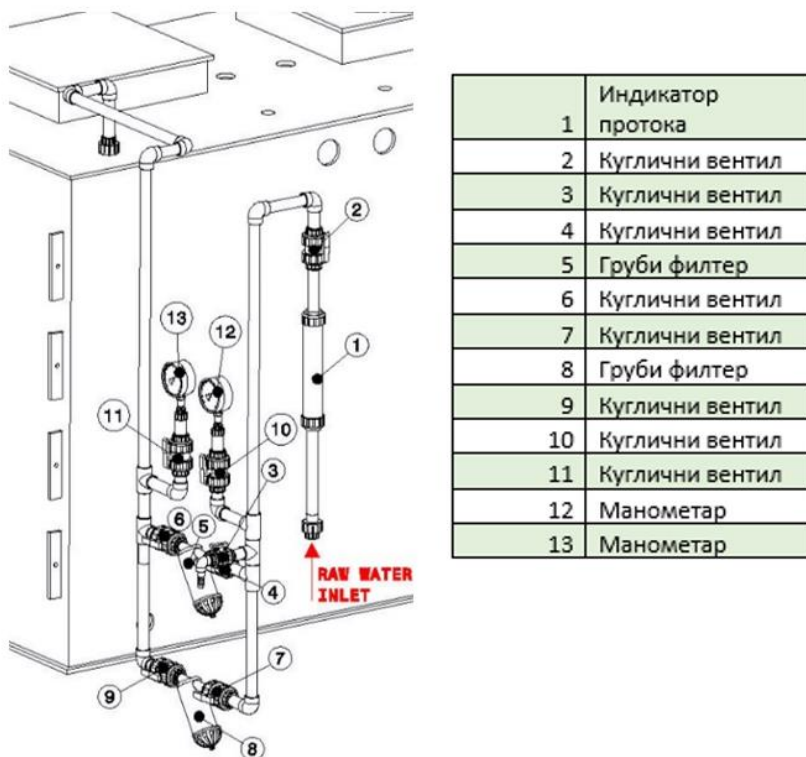
Слика 19: Приказ 3D модела РО система рађеног у софтверу Catia



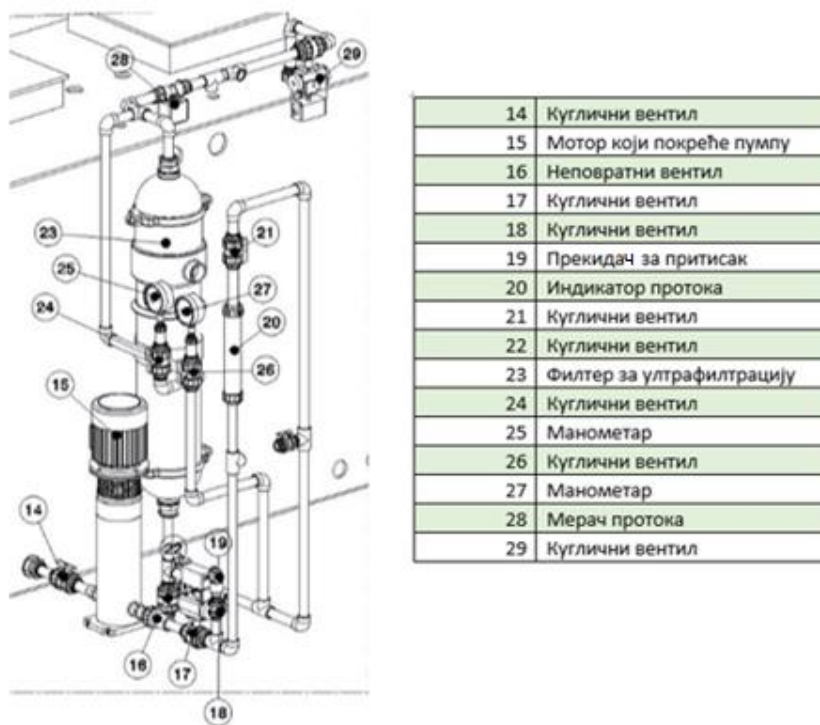
Слика 20: Приказ пројекција 3D модела РО система рађеног у софтверу Catia



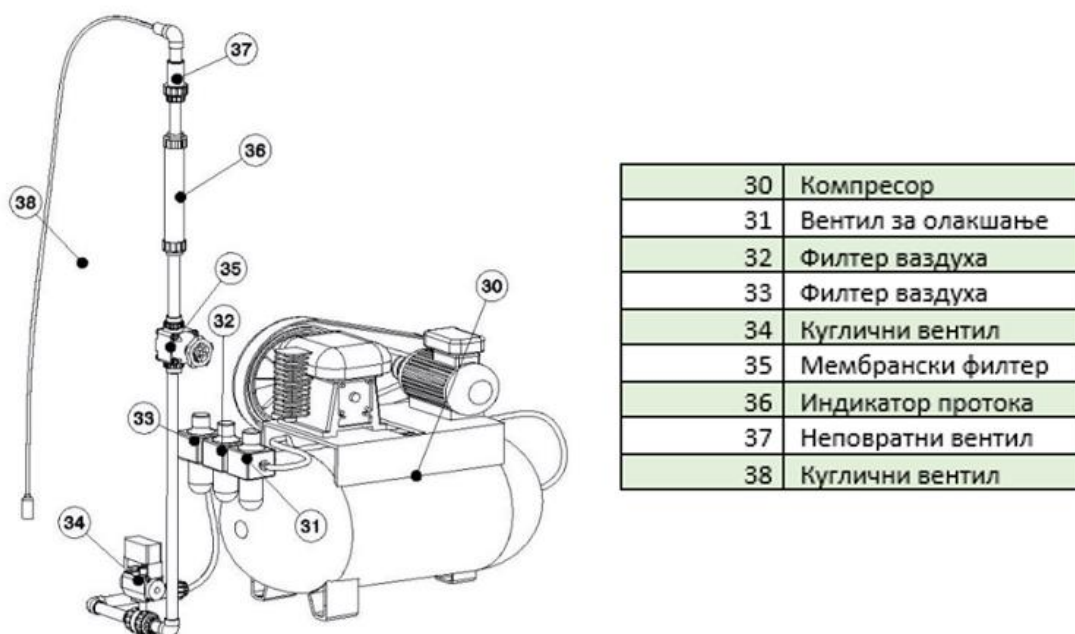
Слика 21: Приказ шеме РО система који је моделиран у софтверу Satia



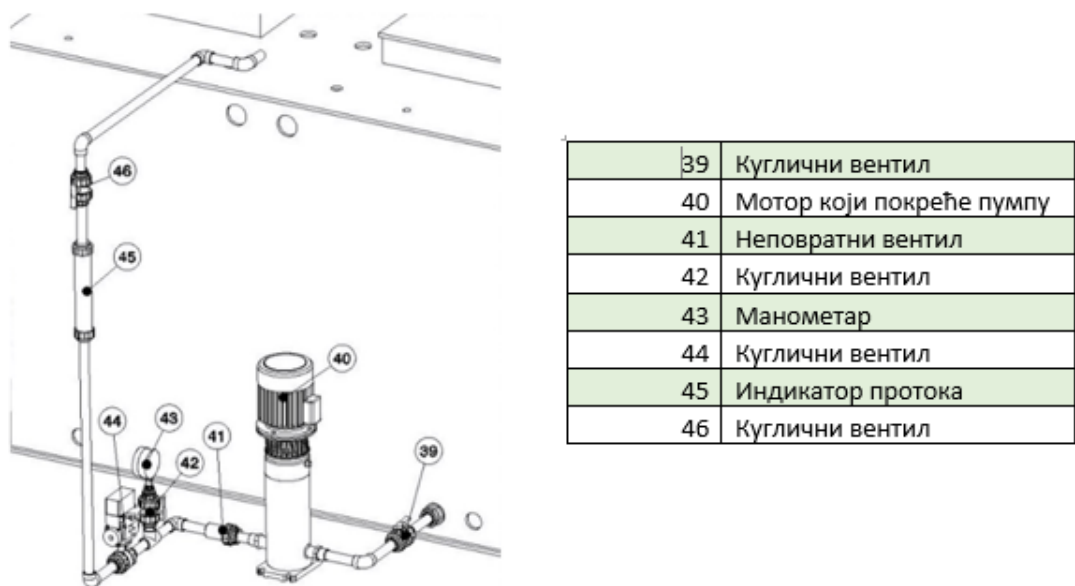
Слика 22: Приказ елемената РО система



Слика 23: Приказ елемената РО система



Слика 24: Приказ елемената РО система

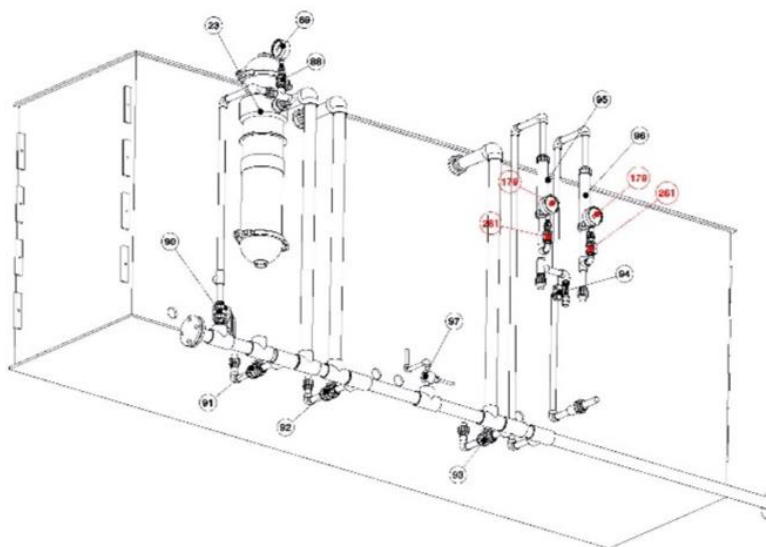


Слика 25: Приказ елемената РО система



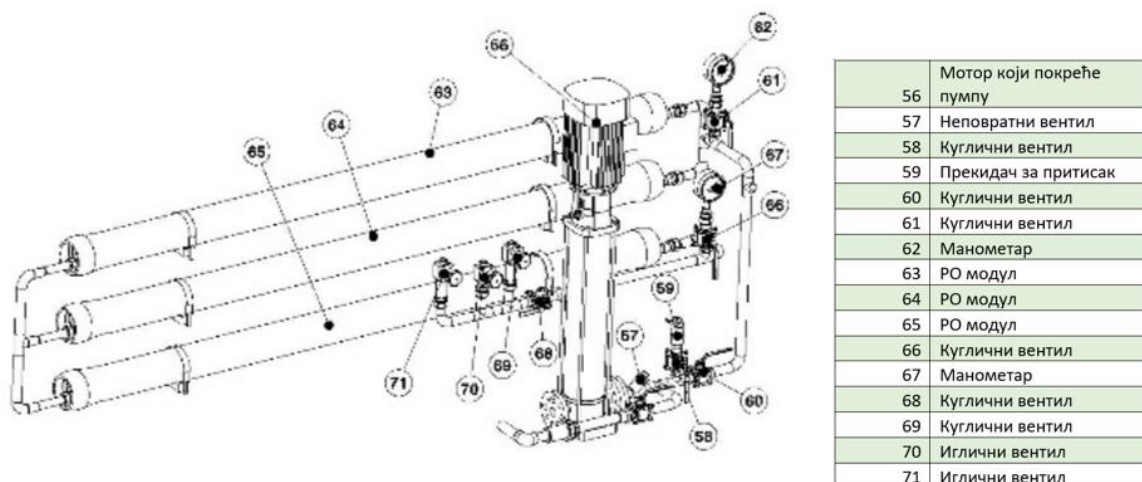
47	Куглични вентил
48	Мотор који покреће пумпу
49	Неповратни вентил
50	Куглични вентил
51	Прекидач за притисак
52	Куглични вентил
53	Куглични вентил
55	Куглични вентил
56	Мотор који покреће пумпу

Слика 26: Приказ елемената РО система

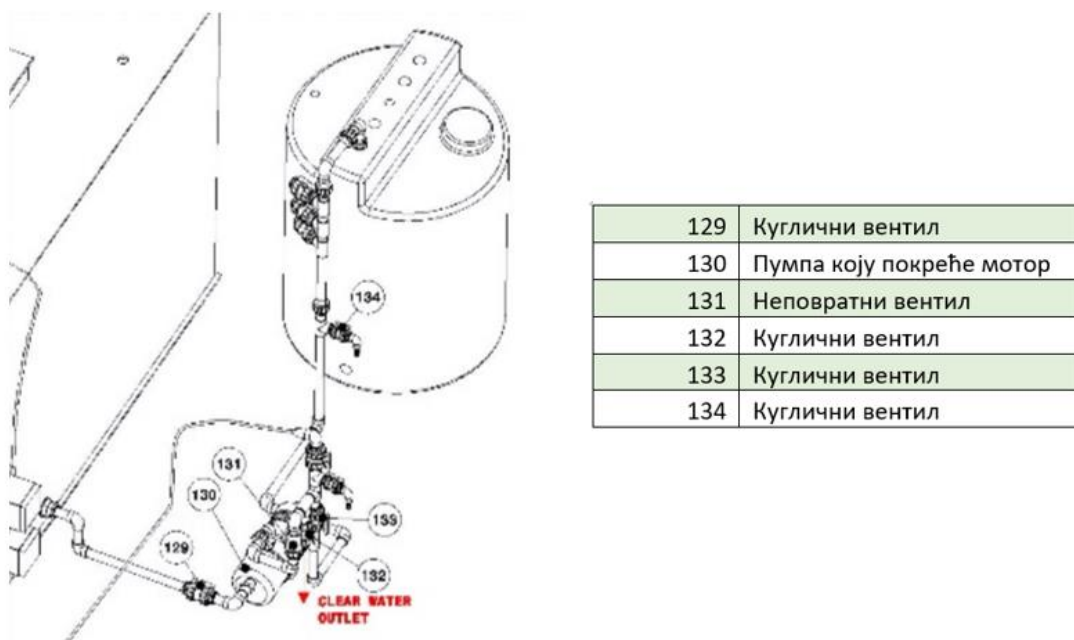


23	Филтер за ултрафилтрацију
88	Куглични вентил
89	Манометар
90	Куглични вентил
91	Куглични вентил
92	Куглични вентил
93	Куглични вентил
94	Куглични вентил
95	Индикатор протока
96	Индикатор протока
97	Вентил за олакшање

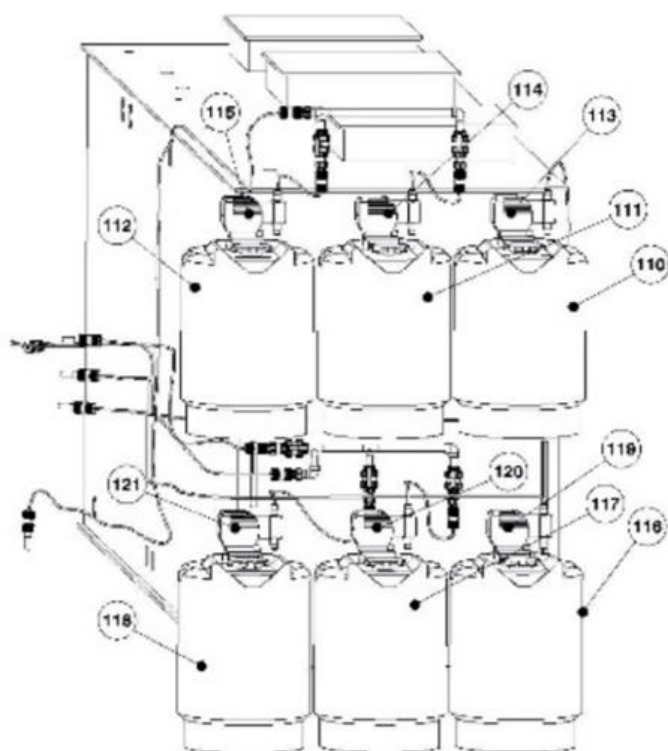
Слика 27: Приказ елемената РО система



Слика 28: Приказ елемената РО система

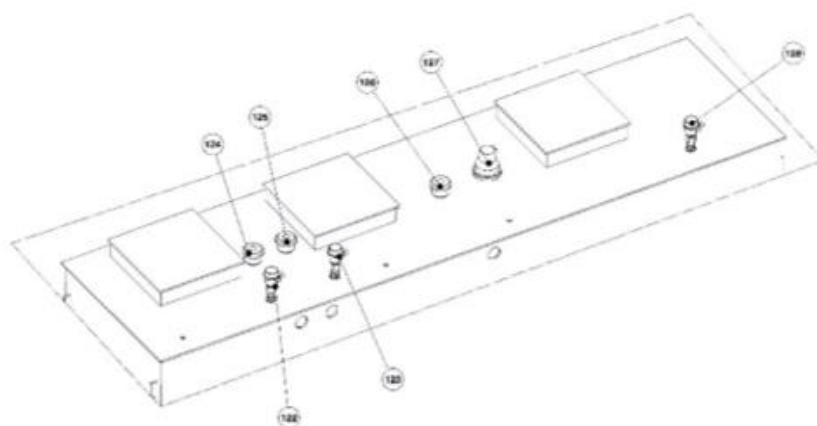


Слика 29: Приказ елемената РО система



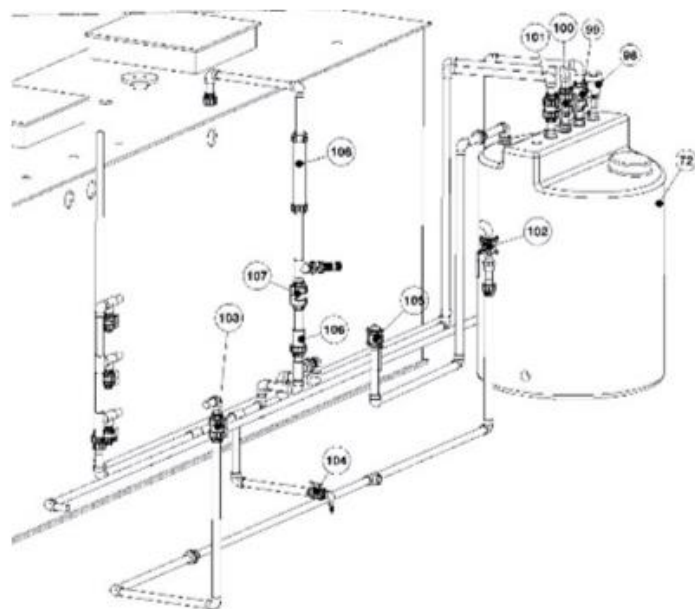
110	Резервоар за NaCl
111	Резервоар за антискалант
112	Резервоар за антискалант
113	Пумпа коју покреће мотор
114	Пумпа коју покреће мотор
115	Пумпа коју покреће мотор
116	Резервоар за HCl
117	Резервоар за NaOH
118	Резервоар за NaOH
119	Пумпа коју покреће мотор
120	Пумпа коју покреће мотор
121	Пумпа коју покреће мотор

Слика 30: Приказ елемената РО система



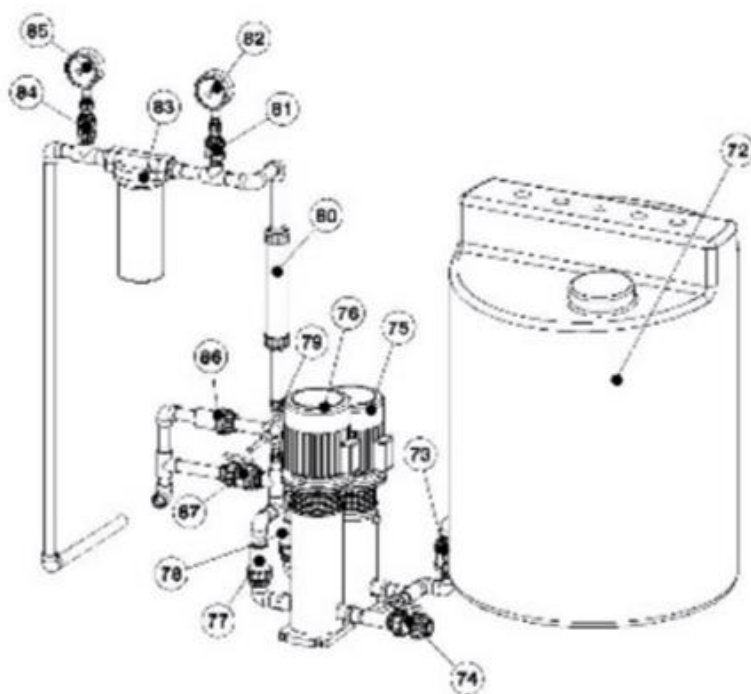
122	Вентил за контролисање нивоа течности
123	Вентил за контролисање нивоа течности
124	Ваздушни филтер
125	Ваздушни филтер
126	Ваздушни филтер
127	Термометар и мерач pH вредности
128	Вентил за контролисање нивоа течности

Слика 31: Приказ елемената РО система



72	Резервоар за СІР
98	Вентил за контролисање нивоа течности
99	Куглични вентил
100	Куглични вентил
101	Куглични вентил
102	Куглични вентил
103	Куглични вентил
104	Куглични вентил
105	Куглични вентил
106	Неповратни вентил
107	Куглични вентил
108	Индикатор протока

Слика 32: Приказ елемената РО система2с3



72	Резервоар за СІР
73	Куглични вентил
74	Куглични вентил
75	Пумпа коју покреће вентил
76	Пумпа коју покреће вентил
77	Неповратни вентил
78	Неповратни вентил
79	Вентил за олакшање
80	Индикатор протока
81	Куглични вентил
82	Манометар
83	Врећасти филтер
84	Куглични вентил
85	Манометар
86	Неповратни вентил
87	Куглични вентил

Слика 33: Приказ елемената РО система

7. Техно-економска анализа

Техно-економска анализа обухвата процену укупних инвестиционих трошкова (изградња постројења као и зарада фирме која се бави производњом оваквих постројења). Затим, на основу локације на којој ће се налазити постројење потребно је урадити и прорачун исплативости постројења. У табели 33 су приказани делови са ценама који улазе у састав постројења.

Табела 3: Цена компоненти постројења

Назив	Количина	Цена по комаду (€)	Укупна цена (€)
Мерач протока	8	99,6	796,8
Манометар	10	79,9	799
Груби филтер	2	21,61	43,22
Резервоар, 6м 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	1428	1428
Компресор RICO, Q=10 m ³ /h, p=10 bar	1	1890	1890
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	1360	1360
Резервоар за ClP, 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	1073,4	3220,2
Пумпе ProMinent ConceptPlus 0213 NPB Q=1,2 m ³ /h, p=1,5 bar	6	435	2610
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	1432
Мерач рН вредности и температуре	1	2533,75	2533,75
Филтер за ваздух Pi 0146	3	11	33
Конструкција од нерђајућег челика, 1,14 €/kg	1	1409	1409
Контролно кућиште	1	1125	1125
Стандардни материјал (вентили, спојнице, цеви..)			10000
Укупно			35687,37 €

Укупна цена постројења у коју је урачуната и зарада фирме која изводи радове јесте:

$$35687,37 + 35687,37 * 0,3 = 46393,581 \text{ €}$$

За прорачун исплативости постројења узети су подаци о ценама пијаће воде и цене електричне енергије за Србију. Просечна цена електричне енергије је 0,018 €/kW/h, а воде 0.6 €/m³.

Током године, постројење може бити у функцији 350 дана, док се остатак троши на одржавање система (ремонт, чишћење). Пошто је капацитет постројења 1 m³/h, укупна производња пијаће воде на годишњем нивоу је:

$$1 * 24 * 350 = 8400 \frac{\text{m}^3}{\text{god}}$$

А потрошња струје система је 12,5 kW/h тако да је укупна потрошња електричне енергије на годишњем нивоу:

$$12,5 * 24 * 350 = 105000 \frac{\text{kW}}{\text{god}}$$

Када се количина произведене воде на годишњем нивоу помножи са ценом воде у Србији добија се зарада на годишњем нивоу:

$$8400 * 0.6 = 5040 \frac{\text{€}}{\text{god}}$$

Када се потрошња електричне енергије на годишњем нивоу помножи са ценом електричне енергије у Србији добија се трошак на годишњем нивоу:

$$105000 * 0,018 = 1890 \frac{\text{€}}{\text{god}}$$

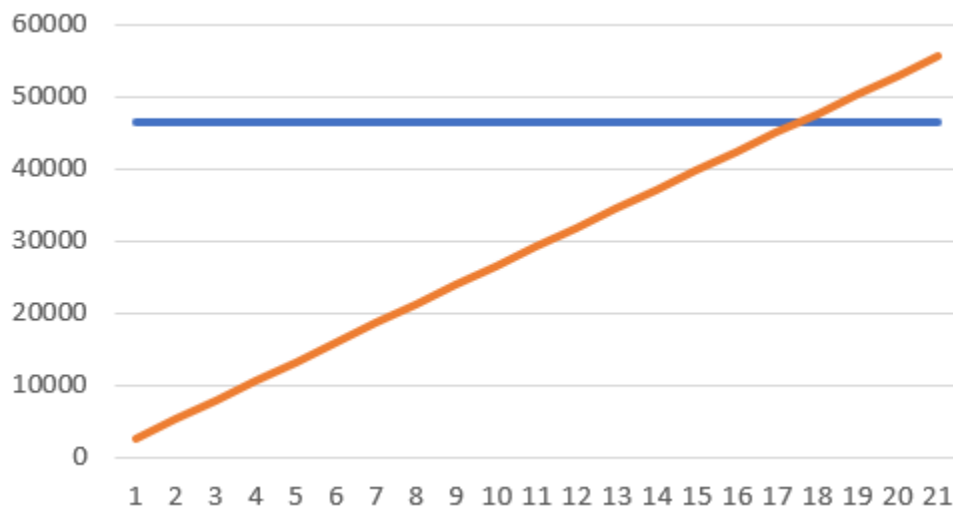
Овој вредности се додаје сума од 500€ која се односи на додатне трошкове и одржавање система, тако да укупни трошкови на годишњем нивоу износе:

$$1890 + 500 = 2390 \frac{\text{€}}{\text{god}}$$

Одузимањем укупних годишњих трошкова од укупне годишње зараде: 5040 - 2390 = 2650€ добија се „чиста“ годишња зарада.

Дијаграм на слици 34 се односи на период исплативости, добијен је на основу поређења цене постројења и зараде која се остварује на годишњем нивоу. Место пресека линија, које

се односе на цену постројења и зараду која се остварује током година, се односи на период исплативости постројења што износи 17 година и 6 месеци.



Слика 34 : Дијаграм периода исплативости постројења (плава линија означава цену постројења а црвена зараду)

Закључак

Примена мембранских процеса у третману вода подразумева пре свега припрему воде за пиће, као и припрему воде за коришћење у одређеним индустријама. Мембранским пречишћавањем воде се добија чиста вода ослобођена минерала, тешких метала и њихових једињења, нитрата, органских материја и микроорганизама.

Десалинација морске воде се сматра једном од обећавајућих техника за добијање воде за пиће у регионима где је заступљен дефицит. Најпогоднија технологија је свакако процес реверзне осмозе којом се добија вода високог квалитета са изузетно мањом потрошњом електричне енергије у односу на друге процесе, попут процеса испаравања.

Литература

- [1] Jane Kucera (2014): Desalination water from water, Wiley, ISBN 978-1-118-20852-6
- [2] Катарина Лековић (2018): SAF и SMF технологија, Семинарски рад из предмета Напредне технике у третману вода, Универзитет у Крагујевцу
- [3] Бруно Куфнер (2015): Обрада воде РО/НФ мембранским суставом, Дипломски рад, Грађевински факултет Осијек
- [4] Вања Шуштершич (2018): Мембрански системи филтрације, скрипта из предмета: Напредне технике у третману вода, Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу
- [5] <https://blog-en.condorchem.com/reverse-osmosis-applications/#.W3lbn7ixWUk> – приступљено 06.07.2018.
- [6] http://vodoservice.com/?page_id=752 – приступљено 06.07.2018.
- [7] <http://www.euroteam.rs> -приступљено 06.07.2018.
- [8] <http://www.hannainstruments.rs/kontrolisanje-filtracije-vode-u-pivarama/> - приступљено 28.07.2018.