

OBDELAVA PITNE VODE Z MEMBRANSKIMI POSTOPKI S POUDARKOM NA REVERZNI OSMOZI

Marko Josič, Mesec d.o.o. in mag. Muharem Husić, Šolski center Ljubljana, Višja strokovna šola, Visoka šola za trajnostni razvoj, Kranj

Izvleček

Pomembni mejnik v razvoju reverzne osmoze je bil dosežen leta 1959, ko so raziskovalci s Kalifornijske univerze v Los Angelesu (UCLA) in Univerze v Floridi razvili prve učinkovite membrane za reverzno osmozo. Ta membrana je omogočala ločevanje soli iz vode z uporabo pritiska, kar je bil ključni korak za praktično uporabo tehnologije.

Komercialna uporaba reverzne osmoze (v nadaljevanju RO) za desalinizacijo morske vode se je začela v 1960-ih letih. Tehnologija je od takrat doživela številne izboljšave in se danes pogosto uporablja za čiščenje pitne vode, pridobivanje industrijske vode in v drugih aplikacijah, kjer je potrebna visoka kakovost vode.

S pomočjo membranskih postopkov dosežemo ločevanje raztopljenih delcev od tekočin. Osredotočili smo se predvsem na obdelavo vode s sistemom reverzne

osmoze. Predstavili smo tudi vse sestavne dele reverzne osmoze in opisali obdelavo vode pred vstopom v reverzno osmozo in obdelavo vode za reverzno osmozo. Na koncu prispevka smo dodali tudi sistem, ki je uporaben, ko govorimo o varnosti premoženja in ljudi. Ker imamo več vrst membranskih postopkov obdelave vode, je zelo pomembno upoštevati vse dejavnike, da izberemo sistem, ki je potreben za določeno funkcijo.

Ključne besede: obdelava vode, membranski postopki, reverzno osmozni sistem, učinkovitost, varnost

CIRCULAR ECONOMY – TREATMENT OF DRINKING WATER WITH MEMBRANE PROCEDURES WITH AN EMPHASIS ON REVERSE OSMOSIS

Abstract

An important milestone in the development of reverse osmosis was achieved in 1959, when researchers from the University of California, Los Angeles (UCLA) and the University of Florida developed the first efficient reverse osmosis membrane. This membrane made it possible to separate salt from water using pressure, which was a key step for the practical application of the technology.

Commercial use of reverse osmosis (hereafter RO) for seawater desalination began in the 1960s. The technology has undergone great improvements since then and is now widely used for drinking water treatment, industrial water extraction and other applications where high water quality is required.

With the help of membrane processes, we achieve the separation of the dissolved parts of the liquid. The oil focuses mainly on reverse osmosis water treatment. We also presented all the components of reverse osmosis and described water treatment before entering reverse osmosis and water treatment for reverse osmosis.

At the end of the article, we also added the system that is used when we talk about the safety of property and people.

Since we have several types of membrane water treatment processes, it is very important to consider all factors in order to select the system required for a specific function.

1 UVOD

Prispevek temelji na moji diplomski nalogi iz leta 2024 z naslovom Krožno gospodarstvo – Obdelava pitne vode z membranskimi postopki s poudarkom na reverzni osmozi. V prispevku bomo predstavili obdelavo pitne vode s pomočjo membranskih postopkov s poudarkom na reverzni osmozi. Za podrobnejši opis reverzne osmoze smo se odločili, ker je ta vrsta obdelave pitne vode v podjetju, v katerem sem zaposlen (Mesec, d. o. o.), najbolj uporabljena vrsta obdelave pitne vode in sem želel pridobiti čim več novih informacij glede obdelave vode z reverzno osmozo.

Obdelava vode z uporabo membranskih postopkov se dandanes uporablja skoraj na vseh področjih. Zaradi velikega onesnaževanja okolja, ki se dogaja zaradi nepravilnega odlaganja odpadnih voda, izpušnih plinov, odpadkov itd., je čiščenje vode še toliko pomembnejše in se zato uporablja več različnih postopkov za čiščenje pitne vode. Pri uporabi membranskih postopkov je zelo pomembna predpriprava vode, da ohranimo čim daljšo življenjsko dobo membran. Ključno je tudi izbrati pravilen način čiščenja vode, da ne pride do nepotrebnih dodatnih stroškov, ki so lahko posledica napačne ocene potrebe sistema. Z okoljevarstvenega vidika je membranska obdelava vode zelo koristna za okolje, kajti ni potrebe po uporabi kemikalij, da pridemo do željenega produkta.

2 ZAKONODAJA NA PODROČJU PITNE IN KOMUNALNE ODPADNE VODE V EVROPSKI UNIJI IN SLOVENIJI

V zakonodaji glede ravnanja s pitnimi in odpadnimi vodami morajo vse članice Evropske unije uskladiti svoje nacionalne predpise s predpisi Evropske unije.

2.1 Zakonodaja v Evropski uniji

Direktivo Evropske unije **98/83/ES** glede pitne vode je sprejel Svet Evropske unije leta 1998. Njeni ključni cilji so zagotoviti kakovost pitne vode in zaščititi zdravje ljudi pred škodljivimi učinki onesnaženja vode. Direktiva določa mejne vrednosti za različne parametre kakovosti vode, kot so mikrobiološki, kemijski in fizikalni parametri, ki morajo biti v predpisanih mejah, da se voda lahko uporablja za pitje in druge namene (EUR-Lex, 2015). Direktivo **91/271/EGS** je sprejel Svet Evropske unije leta 1991. Njen osnovni cilj je varovanje okolja pred škodljivimi vplivi odpadnih voda. Po tej direktivi morajo mesta in naselja, ki imajo minimalno 2000 prebivalcev biti priključena na kanalizacijske sisteme za zbiranje in odvajanje komunalnih odpadnih voda.

Države članice EU morajo poročati Evropski komisiji o implementaciji direktive, vključno s podatki o kakovosti izpustov, delovanju čistilnih naprav in doseženih izboljšavah. Komisija spremlja skladnost in lahko sprejme ukrepe v primeru neskladnosti (EUR-Lex, 2014).

2.2 Zakonodaja v Sloveniji

Slovenska zakonodaja na področju komunalnih odpadnih in pitnih voda je usklajena z evropskimi direktivami. Ključni cilj teh predpisov je varovanje okolja in zdravja ljudi z zagotavljanjem ustreznega zbiranja, čiščenja in odvajanja odpadnih voda. Država izvaja redne nadzore in monitoringe ter nudi finančno podporo za izgradnjo in posodobitev infrastrukture za odpadne vode.

2.2.1. Zakon o varstvu okolja (ZVO-2)

Zakon o varstvu okolja (ZVO-2) ureja področje varstva okolja. Namen zakona je zagotoviti trajnostni razvoj, izboljšati kakovost življenja in varovati naravne vire ter biotsko raznovrstnost (ZVO-2, 2022).

2.2.2. Uredba o odvajanju in čiščenju komunalne odpadne vode

Uredba določa tehnične in organizacijske pogoje za odvajanje, zbiranje in čiščenje komunalne odpadne vode. Uvedba predpisuje tudi obveznosti občin glede zagotavljanja ustreznih komunalnih storitev (PISRS, 2015).

2.2.3. Zakon o vodah (ZV-1)

Zakon o vodah (ZV-1) določa pravice in obveznosti pri upravljanju z vodami, vključno z oskrbo s pitno vodo in zaščito vodnih virov. Zakon ureja pogoje za rabo voda, vključno z izpustom, odvzemom in drugimi oblikami rabe voda. Vsaka uporaba vode mora biti skladna z načeli trajnostnega upravljanja. Zakon tudi določa cilje in načela upravljanja z vodami, ki vključujejo zaščito vodnih virov, trajnostno rabo, zmanjševanje onesnaženosti in preprečevanje škodljivih vplivov vode (ZV-1, 2002).

3 PREDSTAVITEV PODJETJA

Podjetje Mesec, d. o. o. je specializirano in eno izmed vodilnih slovenskih podjetij na področju filtriranja, mehčanja in čiščenja pitne vode. Deluje že več kot 25 let in nudi celovite rešitve za obdelavo, ki vključujejo projektiranje, dobavo opreme, izvedbo in vzdrževanje sistemov. Podjetje ponuja širok spekter izdelkov in storitev, ki zajema filtracijo pitne vode, mehčanje vode, UV dezinfekcijo, obdelavo vode z membranskimi postopki itd. (Mesec, 2021).

V podjetju so zavezani k izpolnjevanju zahtev in pričakovanj njihovih kupcev, ostalih poslovnih partnerjev, s katerimi imajo sklenjene sporazume o zagotavljanju zavez, zakonodaji in regulativi. Podjetje ponuja veliko različnih sistemov za obdelavo pitne vode in sisteme za industrijsko in hišno uporabo. Zaposlenih je veliko strokovnjakov za projektiranje in izvedbo siste-

mov za pripravo vode za različne industrijske namene, kot so priprava vode za farmacevtsko, naftno, prehrabno in gradbeno industrijo, ogrevalne in hladilne sisteme ipd. Podjetje ponuja celovite rešitve za dom, vključno z vodnimi filtri, sistemi za mehčanje vode, UV dezinfekcijo in obdelavo deževnice. Ti sistemi so zasnovani za zagotavljanje visoke kakovosti pitne vode in zaščito hišnih vodovodnih napeljav. Poleg tega zagotavljajo tudi kakovostno montažo, vzdrževanje in servisiranje svojih sistemov, kar zagotavlja njihovo dolgotrajno in učinkovito delovanje.

4 KROŽNO GOSPODARSTVO

Krožno gospodarstvo je temeljni načrt organizacije, potrošnje in proizvodnje, ki spodbuja ponovno uporabo, prenovo, popravila in recikliranja obstoječih izdelkov in materialov (slika 1). S tem načrtom se zmanjšuje količina odpadkov, podaljšuje pa se življenjska doba izdelkov, ki se zaradi svoje starosti ali obrabe ne zavržejo, ampak jih recikliramo in njihove materiale obdržimo v gospodarskem obtoku, kar se da dolgo. To pomeni, da se odpadki uporabljajo kot surovine za nove izdelke.

Krožno gospodarstvo je nasprotje linearnega gospodarstva, ki deluje po principu vzemi-naredi-porabi-odvrzi (slika 2). S takim načrtom gospodarskega modela ustvarjamo velik pritisk na okolje, saj se konstantno povečuje količina odpadkov in drugih onesnaževal (DS Smith, 2024).

4.1 Prednosti krožnega gospodarstva

Prednosti krožnega gospodarstva so:

- krožno gospodarstvo spodbuja ponovno uporabo materialov z namenom zmanjšanja količine odpadkov,



Slika 1: Model linearnega gospodarstva. (Vir: Kimi, 2020)



Slika 2: Model krožnega gospodarstva. (Vir: Evropski parlament, 2023)

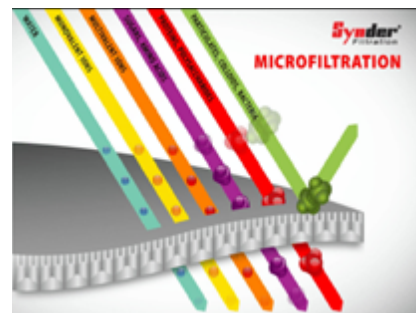
- z inovacijami in ustanovitvijo novih poslovnih modelov podjetja pridobijo konkurenčno prednost,
- trajno izboljšanje oskrbe s surovinami,
- zmanjša se pritisk porabe naravnih virov in se s tem lažje obnavljajo,
- kupci dobijo inovativnejše in trajnejše izdelke, ki povečajo kakovost in tako na dolgi rok prihranijo denar,
- odpiranje novih delovnih mest,
- pospešek gospodarske rasti ipd. (MLC, 2023).

5 VRSTE MEMBRANSKIH FILTRACIJ

V nadaljevanju bomo predstavili štiri vrste membranskih filtracij, in to so mikrofiltracija, ultrafiltracija, nanofiltracija in reverzna osmoza.

5.1 Mikrofiltracija

Mikrofiltracija (slika 3) je postopek, ki uporablja membrane z velikostjo por med 0,1 in 1 μm pri delovnem tlaku nižjem od 2 bara. Uporabljamo jo v mlečni industriji za odstranjevanje maščob in mikrobov, za čiščenje odpadnih vod v industrijskih procesih, v proizvodnji hrane in pijače (Synder Filtration, 2024).



Slika 3: Mikrofiltracija. (Vir: Synder Filtration, 2024.)

5.2 Ultrafiltracija

Ultrafiltracija (slika 4) je postopek, ki uporablja membrane z velikostjo por med 0,01 in 0,1 μm . Membrane delujejo z nizkim pritiskom in posledično imamo nižje obratovalne stroške. Z njo odstranjujemo zelo majhne delce, kot so bakterije, organske snovi, usedline, na klor odporni organizmi, topljenci z visoko molekularno maso in druge suspendirane trdne snovi.

Najpogosteje se uporablja za čiščenje odpadne vode v industrijskih procesih – odstranjevanje olja pri čiščenju odpadne vode, koncentracijo rastlinskih beljakovin, obdelavo krvne plazme, proizvodnjo antibiotikov ipd. (Synder Filtration, 2024).



Slika 4: Ultrafiltracija. (Vir: Synder Filtration, 2024.)

5.3 Nanofiltracija

Nanofiltracija (slika 5) je postopek, ki uporablja membrane z velikostjo por med 0,001 in 0,01 μm . Odstranjuje sladkorje, vitamine, sintetična barvila, viruse, proteine, olja ...

V industriji jo uporabljamo za absorpcijo sirotke, proizvodnjo sladkorja za rafiniranje, proizvodnjo farmacevtskih in biotehnoških izdelkov itd. (Carbotecnia, 2024).



Slika 5: Nanofiltracija. (Vir: Synder Filtration, 2024.)

5.4 Reverzna osmoza

V nadaljevanju se bom bolj osredotočil na čiščenje vode z reverzno osmozo (slika 6), ki uporablja membrane z velikostjo por med 0,0001 in 0,001 μm .

Reverzna osmoza se uporablja na različnih področjih, ki zahtevajo visoko kakovost in čistost vode v industrijskih procesih za pripravo kotlovne vode, farmacevtski proizvodnji, prehrabni industriji, v medicini in laboratorijih itd.. RO je ena od najpogostejše uporabljenih metod za desalinizacijo morske vode, namakanje, pripravo vode za sladkovodne in morske akvarije (Samco, b. l.).



Slika 6: Reverzna osmoza. (Vir: Synder Filtration, 2024.)

6 OBDELAVA VODE

Obdelava vode pred vstopom v reverzno osmozo je ključnega pomena za zagotavljanje čim daljše življenjske dobe membran. Če se vhodna voda ne obdelata, se lahko membrane hitro zamašijo z nečistočami in je potrebna zamenjava.

6.1 Obdelava vode z uporabo filtrirnih vložkov

S pomočjo vložkov lahko iz vode odstranimo mehanske delce, klor, vonj, okus ... Na sliki 7 je prikazan kombinirani centralni čistilni sistem Big Triplex 20. V večini primerov se uporabljajo trije zaporedno vezani vložki. To so:

- Pl-Pro-Vložek Pl Pro, ki je gubani poliestrski mehanski filter.
- Fa-Filtrirni vložek FA, ki je izdelan iz polipropilenske volne.
- Bac-Vložek Bac vsebuje stisnjeno

Block Carbon aktivno oglje (Mesec, b. l.).



Slika 7: Filtrirni sistem Big Triplex 20. (Vir: Mesec, b. l.)

6.2 Mehčalna naprava

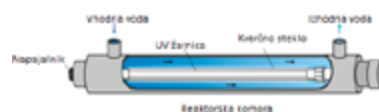
Za mehčanje vode se uporablja ionska izmenjava (slika 8) (kalcijevi in magnezijevi ioni se zamenjajo z natrijevimi ioni), ki je bistven korak za ohranjanje učinkovitosti, zmanjševanja stroškov in podaljšanje življenjske dobe sistemov RO (Britannica, 2022).



Slika 8: Mehčalna naprava. (Vir: Mesec, b. l.)

6.3 UV dezinfekcija

UV sistemi (slika 9) odstranjujejo mikroorganizme v vodi z uporabo ultravijoličnih žarkov. Najpogosteje se uporabljajo za odstranjevanje bakterij in virusov v vodi (Mesec, b. l.).



Slika 9: Sestava UV sistema. (Vir: Prirejeno po: Emergency WASH, b. l.)

7 OBDELAVA VODE ZA REVERZNO OSMOZO

Po postopku čiščenja vode z reverzno osmozo v vodi še vedno ostaja nekaj ionov. Običajno reverzna osmoza odstrani do 99 % vseh ionov. V primerih, ko potrebujemo vodo s še manjšo prevodnostjo, uporabimo dodaten demineralizacijski sistem, ki je zasnovan za zagotavljanje čiste vode brez raztopljenih soli in mineralov. Tak sistem je pogosto uporabljen v industrijah, kjer je potrebna zelo čista voda, kot so farmacevtska, elektronska, kemična in prehrabna industrija (Mesec, 2024).

8 ANALIZA PITNE VODE

V laboratoriju podjetja Mesec, d. o. o. sem opravil analizo vode, ki vstopi in izstopi iz sistema reverzne osmoze. Spremljajo se ključni parametri kot so: pH, električna prevodnost (TDS), motnost, celotna trdota in koncentracija železa.

8.1 Analiza pH vrednosti

Vrednost pH vhodne in izhodne vode sem izmeril s pomočjo kapljic za merjenje pH vode in je bila 8,0 za vhodno in 7,0 za izhodno vodo (slika 10).



Slika 10: Prikaz meritve pH vode. (Lastni vir)

8.2 Analiza električne prevodnosti vode

Električno prevodnost ali TDS vhodne in izhodne vode sem izmeril z ročnim merilnikom TDS-3. Za vhodno je bila 290 mg/l in za izhodno vodo 0 mg/l (slika 11).



Slika 11: Ročni merilnik TDS-3. (Lastni vir)

8.3 Analiza motnosti vode

Motnost vode sem izmeril s pomočjo merilnika Eutech TN-100 in je bil za vhodno 0,32 NTU (nephelometric turbidity unit) in za izhodno vodo 0 NTU (slika 12).



Slika 12: Eutech TN-100. (Lastni vir)

8.4 Analiza celotne trdote vode

Celotno trdoto vode sem izmeril s pomočjo kapljic za merjenje celotne trdote vode, ki je izražena v francoskih stopinjah, za vhodno je bila 15 °fH ter 0 °fH za izhodno vodo.

8.5 Analiza železa v vodi

Koncentracijo železa sem izmeril z merilcem photometer MD 610 (slika 13), ki ima območje od 0.02 mg/l do 1 mg/l.

Vsebnost železa v vhodni in izhodni vodi je bila pod mejo določljivosti 0.02 mg/l.



Slika 13: Photometer MD 610. (Lastni vir)

9 ZAKLJUČEK

Reverzna osmoza je membranski postopek obdelave vode, ki vsebuje največ sestavnih delov, zato je potrebno veliko znanja za kakovostno opravljanje storitev ter redno vzdrževanje. Za zagotovitev pravilnega delovanja naprav je pomembna pravilna montaža, ker v primeru napačne montaže lahko pride do težav pri pravilnem delovanju. Pri montaži moramo upoštevati pogoje, kot so: vhodni tlak vode, temperatura prostora, temperatura vhodne vode, napajalna napetost, velikost prostora ipd.

V prispevku smo predstavili membranske postopke, ki se uporabljajo za obdelavo pitne vode, in ugotovili, da je obdelava vode z reverzno osmozo najučinkovitejši način čiščenja v primerjavi z istimi parametri ostalih membranskih postopkov, ki so dostopni v literaturi. Z reverzno osmozo dosežemo največjo čistost in najmanjšo električno prevodnost vode. Reverzno osmozna naprava

je dražja od ostalih membranskih naprav, zato je pomembno, da znamo pravilno oceniti, kdaj je neobhodna za uporabo, da ne pride do nepotrebnih stroškov zaradi napačne ocene. Opisali smo potrebno obdelavo vode pred vstopom v sistem in možnost obdelave vode za reverzno osmozo.

Ugotovitve in predlogi

Pri sami reverzni osmozi predlagamo, da bi se vgradil dodatni sistem, ki bi omogočal spremljanje prevodnosti vode na daljavo. Sistem bi tudi omogočal, da uporabnik prejme opozorilo, ko je prevodnost vode večja od predpisane. Tako bi uporabniki lažje spremljali stanje naprave in hitreje obvestili vzdrževalce, da pomanjkljivost odpravijo. Če bi v podjetju sami izdelovali reverzne osmoze, bi bila izdelava lahko cenejša in bi podjetje ponudilo nižjo prodajno ceno. S proizvodnjo lastnih reverzних osmoz bi imeli tudi več znanja o sami sestavi naprave, kar bi pripomoglo pri servisiranju in vzdrževanju.

Marko Josić je inženir mehatronike, ki je trenutno zaposlen v podjetju Mesec d.o.o.. Njegovo delovno področje je diagnostika težav določenih naprav in iskanje njihovih rešitev ter izboljšav. Prizadeva si tudi za še večjo vključitev krožnega gospodarstva v delovanje podjetja.

Soavtor **mag. Muharem Husić** se je februarja leta 2018 upokojil s 40,5 leti delovne dobe. Od tega je delal štiri leta v Kemični tovarni Melamin v Kočevju in 36,5 let na Kemijskem inštitutu v Ljubljani. Objavil je 104 znanstvenih in strokovnih del, univerzitetne ali višješolske učbenike z recenzijami (Ergonomija in varstvo pri delu (2010), Ekologija (2011), Odvajanje in čiščenje odpadnih vod (2015)). Je avtor in soavtor sedmih nerecenziranih učnih gradiv, ki pa so vpisana v bazo COBISS. Je mentor 41 diplomskih del, ki so vpisana v bazo COBISS in 14, ki še niso vpisana v COBISS.

LITERATURA IN VIRI

- Britannica. (2022). *Water softening*. Pridobljeno 21.5.2024 iz Water softening | Definition, Process, & Results | Britannica
- DS Smith. (2024). *Kaj je krožno gospodarstvo?* Pridobljeno 12. 6. 2024 iz <https://www.dssmith.com/sl/trajnost/vođenje-kroznega-gospodarstva/vec-o-kroznem-gospodarstvu/kaj-je-krožno-gospodarstvo>
- EUR-Lex. (2014). *Direktiva Sveta z dne 21. maja 1991 o čiščenju komunalne odpadne vode*. Pridobljeno 12.3.2024 iz <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/?uri=CELEX%3A31991L0271>
- EUR-Lex. (2015). *Direktiva Sveta 98/83/ES z dne 3. novembra 1988 o kakovosti vode, namenjene za prehrano ljudi*. Pridobljeno 15. 3. 2024 iz <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/?uri=CELEX:31998L0083>
- Mesec d.o.o. (2024). *Interno gradivo z naslovom Demineralizirana voda*. Ljubljana: Mesec d.o.o.
- Mesec. (2021). *Hišni in industrijski sistemi*. Pridobljeno 12.3.2024 iz <https://mesec.si/>
- Mesec. (b.l.) *MESEC „Big triplex 20“, kombinirani centralni čistilni filtrirni sistem*. Pridobljeno 18.5.2024 iz MESEC „Big Triplex 20“, kombinirani centralni čistilni filtrirni sistem
- Mesec. (b.l.) *VH200, UV dezinfekcijski sistem VIQUA*. Pridobljeno 21. 5. 2024 iz UV dezinfekcija vode – Vodni filter UV VH200 | MESEC
- MLC. (2023). *Kako SAP podpira krožno gospodarstvo v poslovnem svetu*. Pridobljeno 12.6.2024 iz <https://www.mlcljubljana.com/kako-sap-podpira-krožno-gospodarstvo-v-poslovnem-svetu/>
- PISRS. (2015). *Uredba o odvajanju in čiščenju komunalne odpadne vode*. Pridobljeno 17.3.2024 iz <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=URED6951>
- PISRS. (2002). *Zakon o vodah (ZV-1)*. Pridobljeno 15. 3. 2024 iz <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=ZAKO1244>
- PISRS. (2022). *Zakon o varstvu okolja (ZVO-2)*. Pridobljeno 16. 3. 2024 iz <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=ZAKO8286>
- SAMCO. (b.l.) *What is Reverse Osmosis and How Is It Used For Industrial Applications?* Pridobljeno 7.6.2024 iz <https://samcotech.com/what-is-reverse-osmosis-and-how-is-it-used-for-industrial-applications/>
- Synder Filtration. (2024). *Applications of Microfiltration Membranes*. Pridobljeno 27. 3. 2024 iz Microfiltration Membrane Applications (synderfiltration.com)
- Synder Filtration. (2024). *Ultrafiltration Membranes*. Pridobljeno 16. 3. 2024 iz Ultrafiltration Membranes | Synder Filtration