

## PREGLED TEHNIČKE LITERATURE I DOKUMENTACIJE

Uređuje: Domagoj Vrsaljko

### PROCESNO INŽENJERSTVO

Tünde Kirstein

#### Pumpe za reverznu osmozu

[Our New Pump Ranges Address the Needs of the Desalination Market]

Osmoza je difuzija tekućine kroz polupropusnu membranu iz otopine s niskom koncentracijom otopljenе tvari u otopinu s većom koncentracijom. Tok kapljevine uzrokovan osmozom može se obrnuti ukoliko se primijeni dovoljno visok tlak na strani membrane s koncentriranom otopinom – taj postupak nazivamo reverzna osmoza. Reverzna osmoza se primjenjuje za pročišćavanje vode i desalinaciju. Membrana omogućava prolazak vode, ali ne i većih molekula ili iona (kao npr. iona morske soli).

Na prvi pogled, tradicionalne tehnologije temeljene na isparavanju intuitivno se čine najboljim izborom za procese desalinacije. U procesu destilacije, morska se voda zagrijava, a zatim odvaja od soli isparavanjem i kondenzacijom. Taj se postupak ponavlja pod određenim uvjetima temperature i tlaka, čime se povećava učinkovitost procesa. Iako se proizvedena niskotlačna para upotrebljava za grijanje, ukupna količina energije koju ta tehnologija troši je visoka. Reverzna osmoza membranski je proces i ne treba nikakvu toplinsku energiju. Odsoljavanje ili desalinacija morske vode reverznom osmozom treba manje energije od tradicionalnih toplinskih procesa na osnovi destilacije, a potrebna energija može se usporediti izračunavanjem ekvivalentne električne energije za različite metode odsoljavanja:

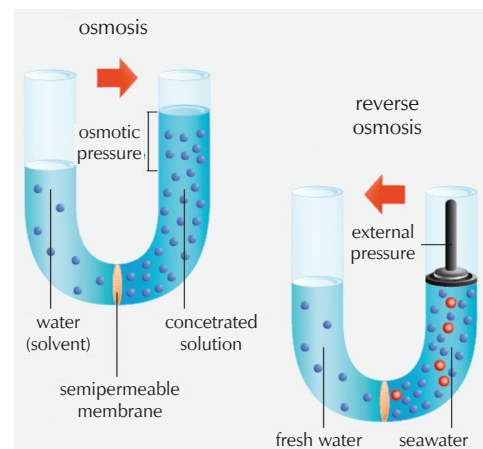
- Destilacija s višestrukim učinkom (*Multiple-effect distillation – MED*): 6,5 – 11 kWh/m<sup>3</sup>
- Višestupanjska ravnotežna destilacija (*Multistage flash distillation – MSF*): 13,5 – 25,5 kWh/m<sup>3</sup>
- Reverzna osmoza mora (*Seawater reverse osmosis – SWRO*): 3 – 3,5 kWh/m<sup>3</sup>

Upravo je to razlog zašto se tržište odsoljavanja okreće reverznoj osmozi, čak i u onim područjima gdje su troškovi energije tradicionalno vrlo niski, kao npr. na Bliskom istoku.

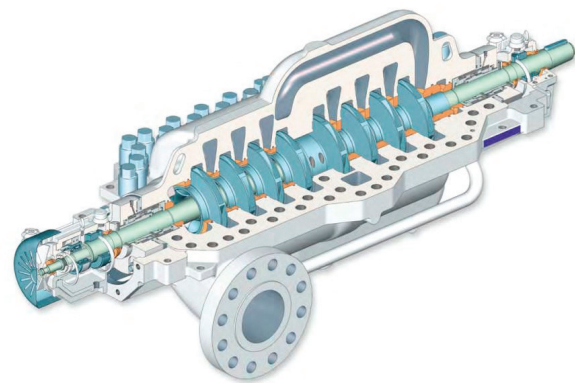
Kod postupka reverzne osmoze tri su glavna inženjerska izazova: energetska učinkovitost, ispuštanje koncentrirane slane vode te predobrada morske vode. Predobrada morske vode je potrebna jer su membrane vrlo osjetljive na kvalitetu morske vode, a kako su one jedan od najskupljih dijelova pogona, nužno je da predobrada bude temeljita. Krute čestice, onečišćenja i biološki život treba svesti na najmanju moguću mjeru kako bi se spriječilo stvaranje naslaga (tzv. *fouling*) i rast živih organizama na površini membrane. Takva intenzivna predobrada stvara više od jedne četvrtine ukupnih kapitalnih troškova i ostalih izdataka. Većina troškova u postrojenju za desalinaciju ovise o potrošnji energije. Dakle, ključ uspjeha takvog postrojenja je energetska učinkovitost svih komponen-

ti. Neka od poboljšanja na postrojenju odnose se na energiju uređaja za regeneraciju, dok se neka daljnja poboljšanja postižu učinkovitijim pumpama, budući da svaki postotak njihovog povećanja učinkovitosti izravno smanjuje troškove dobivene vode. Uz pravilan dizajn postrojenja i odabira opreme, reverzna osmoza nenadmašiva je u pogledu energetske učinkovitosti.

U napisu je riječ i o novorazvijenim visokotlačnim pumpama za reverznu osmozu. Takve pumpe troše oko 60 % energije cijelog postrojenja. Kako kod primjene tih pumpi (MBN-RO i MSD-RO pumpe) nema problema s krutim česticama, temperaturom ni otrovnosti, glavni napredak koji se ostvaruje njihovom uporabom je veća učinkovitost.



Slika 1 – Shema procesa osmoze i reverzne osmoze (izvor: <http://www.sulzer.com/>)



Slika 2 – Shema MSD Sulzerove pumpe (izvor: <http://www.sulzer.com/>)

Ming Yang Lee i Sven Kollinger

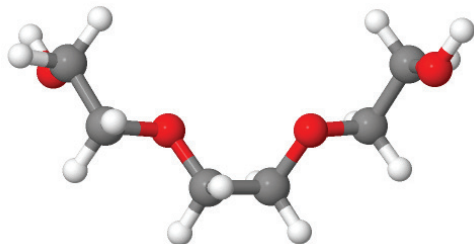
### Evolucija dehidracijskih sustava s trietilen-glikolom

(The Evolution of Glycol Contactors)

Trietilen-glikol (TEG) je viskozna, bezbojna kapljovina molekulske formule  $\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$  koja se u kemijskoj procesnoj industriji upotrebljava za vrlo različite namjene pa se tako npr. upotrebljava kao plastifikator za vinilne polimere, ali i kao dehidracijsko sredstvo za zemne plinove. Dehidracija prirodnog plina neizbježan je dio velikog broja postupaka prerade plinova. Voda može stvoriti kristale hidrata s ugljikovodicima i kiselim plinovima ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ). Ti kristali hidrata mogu se aglomerirati i začepiti sustav. Osim toga, voda kao slobodna kapljovina može otopiti kisele plinove i stvoriti ozbiljne korozijske probleme.

Različite primjene prerade plinova imaju različite zahtjeve za dehidracijom. Projektiranje adsorpcijske kolone s TEG-om kompleksan je zadatak. Takva kolona obavlja tri različita procesa: 1. uklanja kapljice vode u ulaznom dijelu skrubera, 2. apsorpciju vode u TEG u središnjem dijelu i 3. uklanja kapljice u izlaznom dijelu skrubera. Vlažni prirodni plin najprije dolazi u ulazni dio skrubera u kojem se uklanjaju kruta i tekuća onečišćenja. Nakon toga plin ulazi u sekciju za prijenos tvari u kojoj se voda iz plinske faze apsorbira u otapalo (TEG). Na kraju plin prolazi kroz izlaznu sekciju skrubera, u kojem se uklanjaju eventualno zaostale kapljice TEG-a te potom izlazi kao suhi plin.

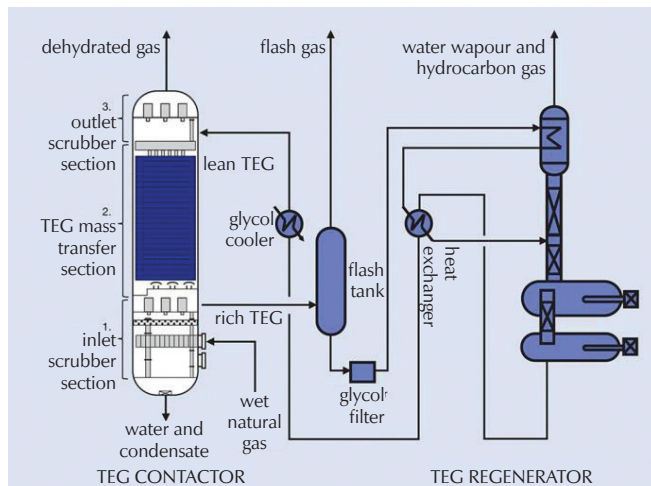
U napisu su opisane četiri vrsta kolona za tu namjenu, a razlikuju se u kombinaciji tehnologija za prijenos tvari i uklanjanja kapljica.



Slika 1 – Trietilen-glikol (TEG)



Slika 2 – Apsorpcijska kolona s trietilen-glikolom



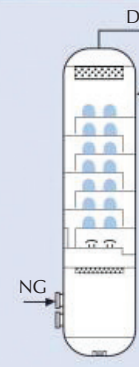


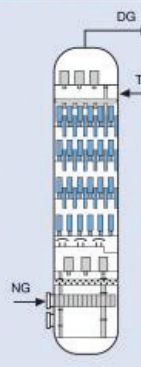
Slika 3 – Dehidracijski sustav s trietilen-glikolom (TEG) sastoji se od nekoliko podsustava, a najvažniji je apsorpcijska kolona (*TEG contactor*) u kojoj se odvija apsorpcija vode. TEG se kreće kroz zatvoreni krug, a voda iz TEG-a se uklanja u podsustavu za regeneraciju (*TEG regenerator*) trietilen-glikola. Regenerirano otapalo TEG ponovno se pušta u apsorpcijsku kolonu radi daljnje apsorpcije vode. Regeneracija TEG-a ima izrazito važnu ulogu u čišćenju TEG-a i kvaliteti dehidracije. Jedinica za dehidraciju plina TEG-om može doživjeti različite probleme u radu, uključujući stvaranje naslaga i pjenjenje. Ti problemi mogu se ublažiti ispravno projektiranom opremom za prijenos tvari i opremom za uklanjanje kapljica (tzv. demistera, odmagljivača).

Tablica 1 – Uobičajeni sastav prirodnog plina

Sastav ulazne smjese	Vrijednost	Jedinica
metan	79,55	mol%
etan	9,15	mol%
propan	4,82	mol%
<i>i</i> -butan	0,81	mol%
<i>n</i> -butan	2,05	mol%
<i>i</i> -pentan	0,50	mol%
<i>n</i> -pentan	0,66	mol%
heksan	0,33	mol%
dušik	0,72	mol%
ugljičkov dioksid	1,16	mol%
voda	0,25	mol%

Tablica 2 – Uobičajeni procesni uvjeti adsorpcijske kolone s trietilen-glikolom

Procesni uvjeti	Vrijednost	Jedinica
procesni tlak kolone	80	bar(a)
protok TEG-a	4 000	kg/h
čistoća TEG-a	98.5	wt%
protok plina na ulazu	300	MMSCFD
ulazna temperatura plina	32	°C

Description	Option 1	Option 2	Option 3	Option 4
DG = dehydrated gas TEG = triethylene glycol NG = natural gas				
Mist elimination at inlet scrubber	Conventional wire mesh	Shell Schoepentoeter™ KnitMesh V-MISTER™	Shell Schoepentoeter™ MKS Multi Cassette™	Shell Schoepentoeter™ MKS Multi Cassette™
Mass transfer section	Bubble cap trays	Mellapak™	MellapakPlus™	Shell Swirl Tube™
Mist elimination at outlet scrubber	Conventional wire mesh	KnitMesh™ 9797-Glycol	MKS Multi Cassette™	MKS Multi Cassette™
F-factor / Pa <sup>0.5</sup>	1.8	2.3	4.2	5.1
Column diameter / mm	2600	2300	1700	1550
Weight of column / %	100	73	51	52
Cost of column / %	100	86	62	69

Slika 4 – Usporedba četiri tipa apsorpcijskih kolona za dehidraciju trietilen-glikolom (izvor: <http://www.sulzer.com/>)

Izvor: Sulzer TR 2 (2016) 4–7

Jussi Heinonen, Reijo Vesala i Janne Tamminen

**Tehnologije za proizvodnju pulpe**

[Advanced Medium-Consistency Technology for Pulp Production]

Industrija pulpe i papira suočava se s velikim izazovima. Ona mora reciklirati papirnate materijale, smanjiti potrošnju energije i kemikalija kako bi procesi postali isplativiji, energetski učinkovitiji i održivi. Pulpa je suspenzija vlakana, zraka i vode. Pulpa srednje konzistentnosti prolazi nekoliko procesa pumpanja i miješanja. Pulpa sadrži slobodni i vezani zrak koji se nalazi uglavnom između vlakana. Izloženost različitim kemikalijama koje se svakodnevno upotrebljavaju u industriji proizvodnje pulpe i papira predstavlja test izdržljivosti za materijale od kojih se izrađuju pumpe i ostale komponente.

Nove MCE-pumpe pružaju bolju izvedbu i iznimno visoku ujednačenost na širokom području temperature i tlaka. Sulzer je projektirao i patentirao jedinstven rotor koji stvara učinkovite turbulencije unutar MCE-pumpe čime se sprječava pretjerani utjecaj na vlakna u pulpi. Pulpa konzistencije do 18 % suhe tvari u suspenziji obično se sastoji od mnogo zraka. Sadržaj zraka/plina obično raste s konzistencijom pulpe. Na primjer, celuloza s konzistencijom 10 % suhe tvari sadrži oko 15 % zraka/plina, dok pulpa konzistencije od 15 % suhe tvari može sadržavati do 35 % zraka/plina. Nova tehnologija,

koja primjenjuje patentirani oblik rotora, povećava učinkovitost otplinjavanja. Instalacija MCE-pumpe s unutarnjim ili vanjskim sustavom otplinjavanja jamči visoku učinkovitost MCE-pumpe – neovisno o uvjetima tijekom pumpanja.

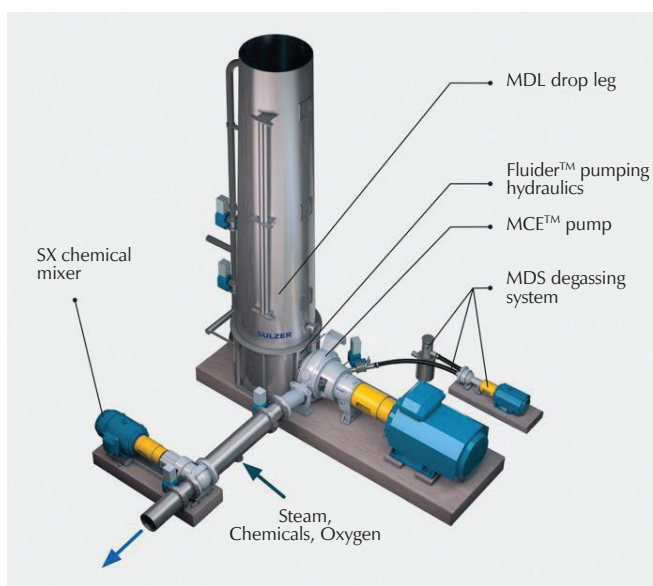
Miješanje kemikalija i pulpe je jedna od najvažnijih operacija u izbjeljivanju pulpe. Dobro miješanje omogućava homogene uvjete izbjeljivanja čime se smanjuje potrošnja kemikalija i energije, poboljšava kvaliteta proizvoda, a smanjuje se i opterećenje okoliša. Dobro miješanje plinovitih i kapljevih kemikalija za izbjeljivanje spada u ključne faktore postupka izbjeljivanja.



Slika 1 – Pulpa



Slika 2 – MCE pumpa s integriranim sustavom otplinjavanja



Slika 3 – Sustav s MCE-pumpom i sustavom SX za umješavanje za pulpe konzistencije 8 do 20 % suhe tvari (izvor: <http://www.sulzer.com/>)

Izvor: Sulzer TR 3 (2016) 10–13

Jörg Koch i Ulric Seah

### Oprema za ekstrakciju

(Moving Closer to Customers)

Ekstrakcija kapljevine-kapljevine jedinična je operacija u kojoj se dvije nemješljive kapljevine dovode u kontakt, a otopljene komponente mješavine raspodijele se između dvije faze. Ključ učinkovitog procesa je odabir prikladne opreme koja će na početku omogućiti temeljit kontakt dviju kapljevine. U drugom koraku je, potom, potrebno razdvojiti jednu od druge. Ekstrakciju kapljevine-kapljevine nalazimo u hidrometalurgiji, rafinerijskim, petrokemijskim i kemijskim operacijama. Tipične primjene su za pročišćavanje procesnog toka i obradu otpadnih voda. Sulzer ustupa ekstrakcijsku opremu za provedbu ispitivanja i uvećanja. Za razliku od projektiranja destilacijske opreme, pouzdano projektiranje opreme za ekstrakciju ne može se temeljiti samo na simulaciji procesa, već su potrebna pilot-istraživanja. Pilot-istraživanja podijeljena su u dva koraka: 1. ispitivanje na laboratorijskoj razini kako bi se izmjerila raspodjela i koncentracija u dvije kapljevine u ravnotežnom stanju, i 2. pilot-ispitivanja u ekstrakcijskim kolonama u kojima se prikupljaju podatci o uvećanju za kolone industrijske veličine.

Za *scale-up* kolone provodi se pilot-istraživanje učinka separacije na kolonama promjera 60 mm, a ponekad i 150 mm. Ta istraživanja zahtijevaju znatno više truda, planiranja i instaliranja opreme u odnosu na istraživanje ekstrakcije u lijevku za odjeljivanje. Osim kolone potrebno je instalirati i dodatnu pomoćnu opremu jer je za uspješnu probu potrebno pažljivo provesti vođenje procesa ekstrakcije.



Slika 1 – Oprema za ekstrakciju koja se posuđuje za provedbu pilot ispitivanja (izvor: <http://www.sulzer.com/>)

Izvor: Sulzer TR 3 (2016)17–19