

# O ODRŽAVANJU FILTRACIONIH SISTEMA

**Zoran Golubović,  
Časlav Mitrović,  
Miroslav Stanojević,  
Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu**

*Jedan od najbitnijih koraka u definisanju tehnološke i konstruktivne koncepcije proizvodnih sistema u kojima je kvalitet korišćenog fluida veoma važan jeste izbor filtera i filtracionih uređaja. Filtracioni uređaji predstavljaju vitalne delove tehnološkog procesa a njihova je prevashodna uloga zaštita ljudi, životne sredine, proizvoda i procesa proizvodnje. Dobro izabrani filteri i filtracioni uređaji, dovoljan broj filtracionih koraka i efikasna filtracija na svakoj poziciji utiču na smanjivanje troškova proizvodnje, optimizaciju tehnološkog procesa kao i na postizanje vrhunskih performansi uređaja čiji su filteri sastavni delovi.*

*Medjutim greške u fluidnim sistemima nastale kao posledica kontaminacije ili neadekvatne filtracije znače gubitke u proizvodnji, više troškova održavanja i dodatne troškove prevremene zamene oštećenih delova. Zbog toga je potrebno izvršiti dobru optimizaciju tehnološkog procesa i pravilan izbor filtracione opreme.*

*Ovaj aspekt postaje posebno bitan u slučajevima kada je u pitanju filtracija vode. Voda ima značajnu ulogu u održavanju filtracionih sistema. Termomehničke karakteristike vode zavise od tehnološkog procesa u kome se koristi filtracioni uređaj, tako da raspon tih karakteristika može biti značajan imajući u vidu na umu da se primena kreće od farmaceutske industrije pa do rafinerija. Medjutim, postoje određene zajedničke odrednice o kvalitetu i količini vode koja se koristi za održavanje filtracioni sistema. U ovom radu data je analiza nekih tipičnih primera definisanja filtracionih sistema, stepen zadržavanja, preporučenih kvaliteta vode, pare, hemikalije ili nekog drugog fluida koja se koristi. Takodje su dati primeri izbora filtracione opreme i to sa aspekta složenosti zahvata, potrebnih filtera, prateće opreme, kvalifikovanosti ljudstva i raspoloživosti resursa u svetu i u našem okruženju. Nakon izvršene analize izvedeni su i odgovarajući zaključci.*

*Ključne reči: filter, filtracioni sistem, održavanje*

## UVOD

Izbor filtera i filtracionih uređaja predstavlja jedan od najbitnijih koraka u definisanju tehnološke i konstruktivne koncepcije proizvodnih sistema u kojima je kvalitet korišćenog fluida veoma važan. Filtracioni uređaji predstavljaju vitalne delove tehnološkog procesa a njihova je prevashodna uloga zaštita ljudi, životne sredine, proizvoda i procesa proizvodnje.

Podsetimo se najpre nekih osnovnih termina. Razdvajanje jedne vrste supstance od druge naziva se separacija. Postoji više načina i postupaka separacije. Ako se za razdvajanje jedne vrste supstance od druge koristi filterski materijal, tako da se omogući prolazak jednoj vrsti supstance, dok se druge supstance zadržavaju na površini ili unutar filterskog medija, tada se govori o filtraciji.

Generalno govoreći, filtracijom se mogu rešiti procesi odvajanja:

- čvrstih čestica od tečnosti,
- čvrstih čestica od gasova,
- tečnosti od gasova,
- tečnosti od tečnosti.

Filtracija je veoma važan korak u mnogim tehnološkim procesima, odnosno, kritičan korak u veoma odgovornim visokim tehnologijama.

Za realizaciju procesa filtracije koriste se filtracioni uređaji. Najjednostavniji takav uređaj sastoji se od kućišta u kome se nalazi jedan ili više filterskih elemenata (filtera). U slučaju kada filtersko kućište i filterski element predstavljaju nerazdvojivu celinu, rec je o filterskoj kapsuli. Filterski uređaj može biti sačinjen od većeg broja filterskih kućišta (filterskih celina). U opštem slučaju, pod filterskim uređajem se mogu podrazumevati sistemi koji sadrže filterske celine i opremu potrebnu za funkcionisanje celog sistema a čiji je zadatak filtracija nekog medijuma.

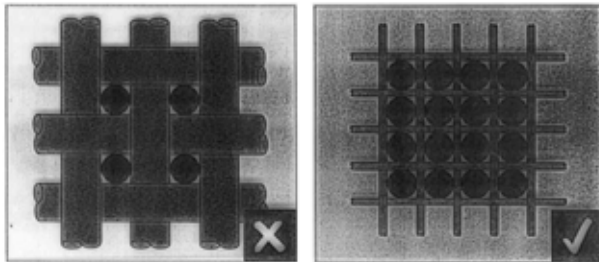
Filtracioni uređjaji su vitalni delovi tehnoloskog procesa koji štite ljude, okolinu, proizvod, proces. U tehnoloskim procesima u kojima je kvalitet fluida strogo definisane čistoće koriste se tzv. kritični filteri.

### KARAKTERISTIKE FILTERSKOG MATERIJALA

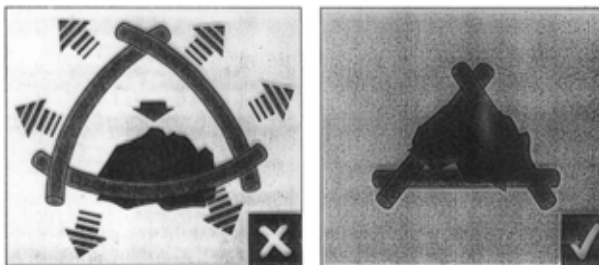
Filterski materijal treba da ima sledeća svojstva:

- Veliku zapreminu pora
- Stabilnu strukturu gradje filterskog materija (matrice)
- Nerazrušivost matrice
- Ravnomernu distribuciju veličina pora

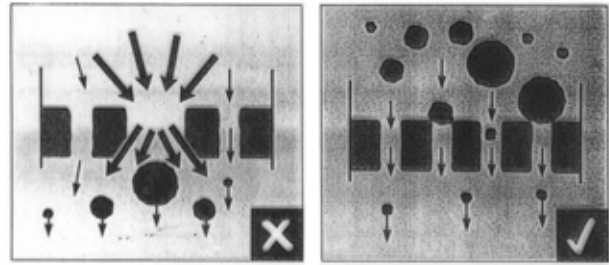
Velika zapremina pora je karakteristika koja je neposredno vezana za kapacitet zaprljanja filterskog materijala. Potrebno je postići takav kapacitet filterskog materijala koji može da sa matricom manjih ćelija absorbuje veće zaprljanje u istoj jediničnoj zapremini i pri istim termomehaničkim osobinama.



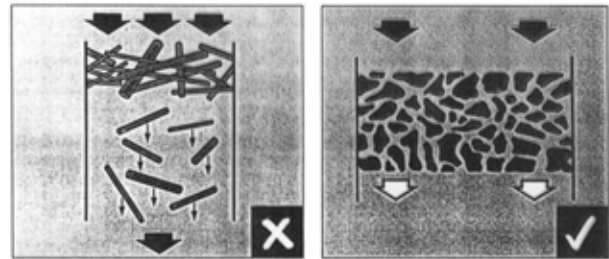
Stabilna struktura gradje filterske matrice je osobina filterskog materijala koja obezbedjuje nepromenljivost veličina pora, čime matrica obezbedjuje stalnost karakteristika filtracije.



Nerazrušivost matrice filterskog materijala znači da u toku filtracije nema osipanja filterskog materijala koji bi se pojavio u filtratu.



Ravnomerna distribucija veličina pora obezbeduju precizno definisanje karakteristika filtera sa stanovišta stepena zadržavanja.



### PODRŠKA FILTRACIONIM PROCESIMA

Postoji više načina da se pospeši efekat filtracije. To se može postići:

- Naelektrisanjem filterskog medija naelektrisanjem koje je suprotno od naelektrisanja čestice koje treba izdvojiti iz tečnosti,
- Korišćenjem rotacionog kretanja čime se medijum koji se filtrira dovodi u obrtno i radijalno kretanje preko nepomičnog kružnog filtera,
- Korišćenjem vibracionih efekata tako što medijum koji se filtrira osciluje u vertikalnom pravcu zajedno sa disk filterima,
- Korišćenjem efekta kolizije.

### TIPOVI FILTERA

Postoji više podela filtera. Ovde su navedene neke od podela koje su uzajamno zavisne i integrisane.

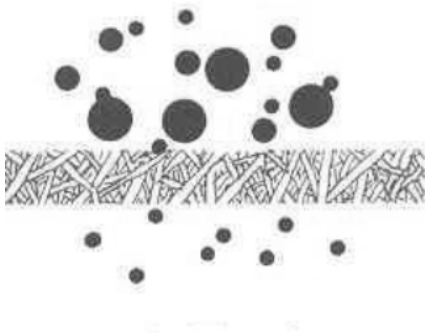
Najpre se filteri se mogu klasifikovati prema stabilnosti matrice na:

- filtere sa nestabilnom matricom - veličine pora se povećavaju sa porastom pritiska
- filteri sa stabilnom matricom - veličina pora se ne menja sa porastom pritiska.

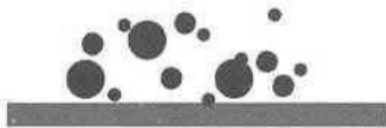
Zatim se filteri mogu podeliti i na:

- dubinske
- membranske
- kombinovane.

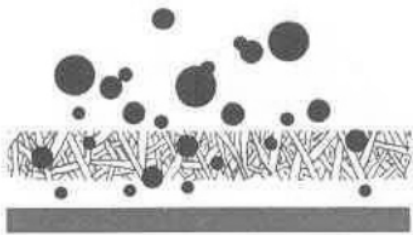
**Dubinski** filteri poseduju veliki kapacitet zaprljanja i imajući tako nekoliko sekcija koje su rasporedjene od onih koje imaju veće pore do onih sa manjom veličinom pora. Koriste se kao prefilteri i redje kao završni filteri u slučaju manje kritičnih primena.



**Membranski** filteri su veoma male debljine. Omogućavaju veoma efikasnu filtraciju i koriste se najčešće kao završni filteri u slučaju kritičnih primena.

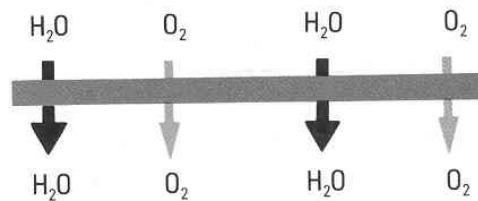


**Kombinovani** filteri predstavljaju kombinaciju više različitih membranskih filtera ili dubinskog i membranskog filtera. Često predstavljaju uspesno i efikasno rešenje za prefiltraciju i filtraciju na jednom mestu.

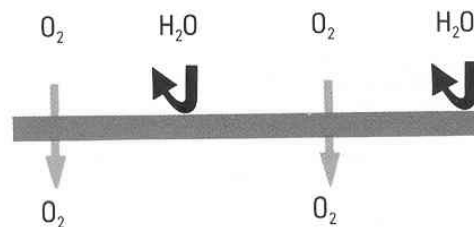


Filteri se još mogu podeliti i na:

- hidrofilne-imaju afiniteta prema void



- hidrofobne-odbijaju vodu



### STEPEN ZADRŽAVANJA FILTERA

Razlikuju se sledeći stepeni zadržavanja:

- Nominalni - proizvoljna vrednost izražena u mikronima koja je zasnovana na zadržavanju određenog procenta čestica date ili veće veličine
- Apsolutni - prečnik najveće sferne čestice izražen u mikronima koja može da prodje kroz filter pod određenim uslovima.

Stepen zadržavanja se može definisati i preko koeficijenta  $\beta_x$  (stepen filtracije), tj.

$$\beta_x = \frac{U_x}{D_x}$$

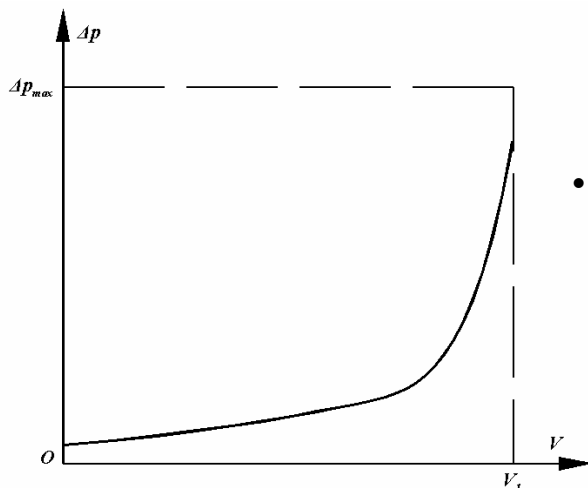
gde su:

$U_x$  - broj čestica ispred filtera veličine  $x$  ili veće

$D_x$  - broj čestica iza filtera veličine  $x$  ili veće.

### IDEALAN FILTRACIONI SISTEM

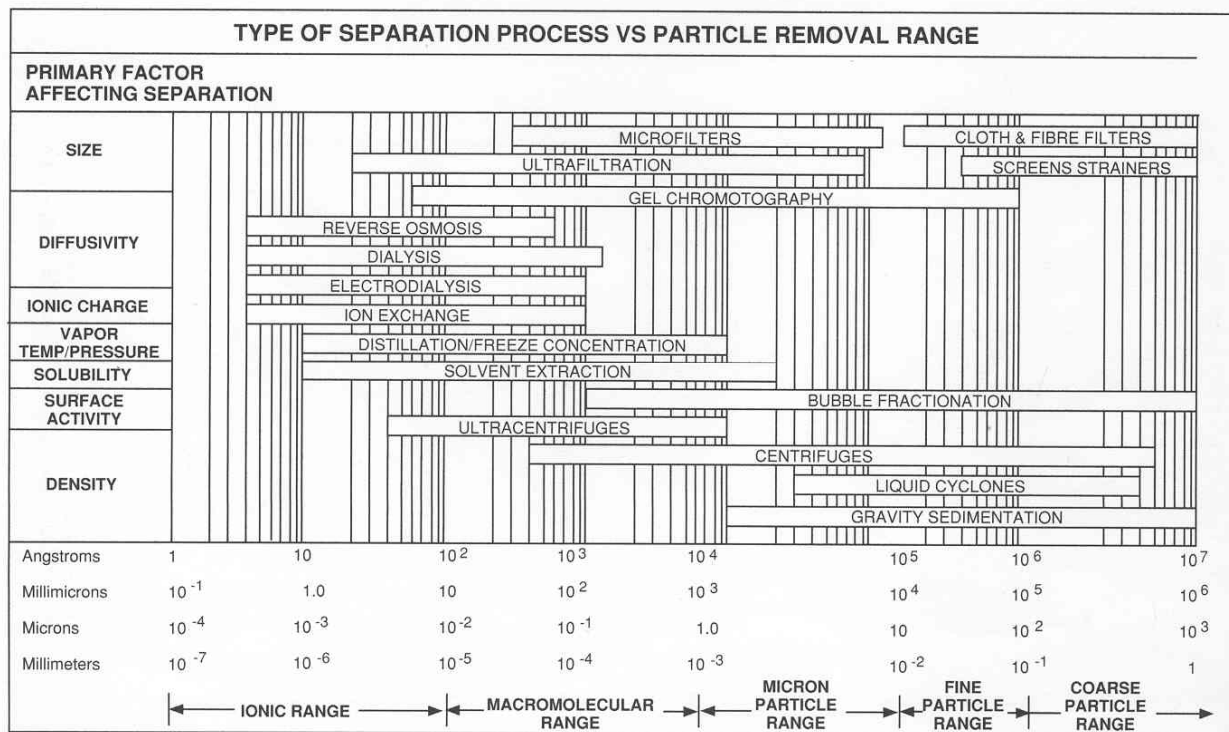
Idealno projektovan filter trebalo bi da isfiltrira sav medijum koji treba tretirati pre nego što se dostigne maksimalan kapacitet njegove zaprljanosti. Ovo je posebno vazno kod onih proizvodnih procesa koji su sastavni deo složenog tehnoloskog ciklusa ili kod onih zahtevnih filtracija kod kojih se filteri koriste jednokratno.



### KLASIFIKACIJA FILTRACIONIH PROCESA

Prema veličini čestica koje se odstranjuju iz fluida, filtracioni procesi se mogu se mogu podeliti na:

- filtracija (opšta filtracija, makrofiltracija)
  - mikrofiltracija
  - ultrafiltracija
  - nanofiltracija
  - hiperfiltracija (RO).



Na slici gore je prikazana je podela filtracionih procesa. Medjutim, pored navedene klasifikacije postoji i nova klasifikacija filtracionih procesa u kojoj se izmedju NF i RO nalazi LOOSE RO (LRO), čije membrane propuštaju i jednovalentne i dvovalentne elektrolite.

### MAKROFILTRACIJA

Izdvajanje čestica većih od 1 $\mu$  iz fluida spada u oblast makrofiltracije.

Za ovu svrhu koriste se sledeći tipovi filtera:

- filter sita - zadržavaju čestice na površini čime se na njima stvara filtraciona pogača, što se može ukloniti mehanički i povratnim pranjem
- dubinski filteri sa stalnom unutrašnjom geometrijom
- dubinski filteri sa promenljivom unutrašnjom geometrijom - filteri su sačinjeni od nasutih čestica (pesak, antracit) čija je regeneracija moguća bilo prodivavanjem i ispiranjem čestica.

### MIKROFILTRACIJA

Mikrofiltracijom se izdvajaju čestice veličine aproksimativno od  $0.1 \div 1 \mu$ . Membrane za mikrofiltraciju su brana za suspendovane čestice i velike koloide, ali ne i za rastvore. Koriste se za skidanje mutnoće, uklanjanje bakterija, itd.

### ULTRAFILTRACIJA

Ultrafiltracija je postupak makromolekularne separacije čestica čija je veličina u rastvoru  $0,002 \div 0,1 \mu$ . Najveći broj ultrafiltracija ima **MWCO** (*Molecular Weight Cut Off*).

Najizraženiji primer ultrafiltracije je u farmaceutskoj i prehrambenoj industriji i to za:

- uklanjanje proteina, pirogena, virusa, koloida i
- kao predtretman i naknadni tretman kod drugih procesa pripreme vode

### NANOFILTRACIJA

Nanofiltracija je specijalan membranski proces pomoću koga se mogu zadržavati čestice veličine oko  $0.001 \mu$ . Tu spadaju organski molekuli sa molekularnom težinom većom od  $200 \div 400$ . Nanofiltracijom se mogu ukloniti rastvorene soli u opsegu 20-98%. Soli sa monovalentnim anjonima ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$ ) mogu biti zadržane u opsegu 20-80%, a soli sa divalentnim anjonima ( $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,...) mogu biti uklonjene u opsegu 90-98%.

Nanofiltracija se koristi:

- za redukciju totalnog ugljenika
- za parcijalnu demineralizaciju
- za tretman voda za piće
- za redukciju ukupnih rastvorenih soli
- u pripremi voda za piće.

Membrane za nanofiltraciju prave se u obliku ravnih listova ili šupljih vlakana. U slučaju kada su izradjene od asimetričnih polimera poseduju tanak filtracioni sloj sa jedne strane. Kompozitne membrane mogu biti izradjene od ultratankog filma od poliamida na osnovi polisulfona.

### HIPERFILTRACIJA

Reversna osmoza je molekularni, separacioni proces koji se koristi za purifikaciju tecnosti i desalinaciju. Ovaj način membranske filtracije koristi se posebno u slučaju velike mutnoće i velikog SDI. Membrane RO su barijera za sve

rastvorene soli i neorganske molekule čija je molekularna težina veća od približno 100. Opseg zadržavanja rastvorenih soli je tipično 95 do 99,8%. Međutim, molekuli vode mogu da prođu kroz membrane RO.

RO se koristi:

- za dejonizaciju vode
- za farmaceutsku vodu
- za vode za kotlove
- kao predtretman i finalni tretman kod drugih procesa pripreme vode
- za pripremu vode za CIP
- za proizvodnju vode u prehrambenoj industriji
- za vodu u mikroelektronskoj industriji.

Za konačnu analizu parametara kvaliteta tretiranog medija treba zapaziti da su navedeni stepeni zadržavanja veoma visoki, što se odnosi i na zadržavanje bakterija, ali ne i 100%. To je posebno vazno kod mikrobioloske kontaminacije. Ako je ulazno mikrobiolosko opterećenje veliko, ta razlika između 100% i procenta zadržavanja bakterija može dati negativnu mikrobiolosku sliku. U tim slučajevima je potrebno učiniti još jedan dodatni filtracioni korak pre ili posle RO.

Da bi se dobio dovoljno nizak sadržaj rastvorljivih materija u vodi, nakon RO može se primeniti:

- membranska destilacija (destilacija kroz hidrofobnu filtracionu membranu)
- dvostruka reversna osmoza.

### POTREBA ZA FILTRACIJOM

Dobro izabrani filteri i filtracioni uređaji, dovoljan broj filtracionih koraka i efikasna filtracija na svakoj poziciji utiču na:

- Smanjivanje troškova proizvodnje
- Optimizaciju tehnološkog procesa
- Dostizanje vrhunskih performansi uređaja čiji su filteri sastavni delovi

Formalno najisplativija je filtracija na kraju tehnološkog procesa proizvodnje ali se kod dobro optimiziranog tehnološkog procesa tehnički redukuju ako se uklanjanje kontaminacije vrši na mestu nastavka.

Greške u fluidnim sistemima nastale kao posledica kontaminacije ili neadekvatne filtracije znači gubitke u proizvodnji, više troškova održavanja i dodatne troškove prevremene zamene oštećenih delova.

## ZNAČAJ FILTRACIJE I NJENOG ODRŽAVANJA

Voda ima značajnu ulogu u održavanju filtracionih sistema. Termomehaničke karakteristike takve vode zavise od tehnološkog procesa u kome se koristi filtracioni uređaj, tako da raspon tih karakteristika može biti značajan imajući u vidu na umu da se primena kreće od farmaceutske industrije pa do rafinerija. Međutim, postoje određene zajedničke odrednice o kvalitetu i količini vode koja se koristi za održavanje filtracionih sistema nezavisno od toga da li se radi o pranju u direktnom smeru ( smeru filtracije ) ili povratnom pranju ( beck wash ), ili ako je reč o hladnom, toplom pranju, sterilizaciji ili sanitizaciji.

U svakom od tih slučajeva kvalitet korišćenog fluida mora da bude bolji od kvaliteta filtera koji se nalazi u okviru filtracionog uređaja. Primera radi, ako su u okviru filterskog sistema nalazi filter čiji je stepen zadržavanja  $1\mu$  preporučuje se da kvalitet vode, pare ili hemikalije koja se

koristi za sanitizaciju bude takav da ne izazove dodatno zaprljanje takvog filtera. To znači da svi takvi fluidi treba da budu tretirani filterima čiji stepen zadržavanja manji od  $1\mu$ . Ovaj zahtev je sastavni deo programa koji treba da obavi CIP uređaj bilo da on radi manuelno ili automatski. Količina ovako pripremljene vode  $Q_1$  određuje se na sledeći način

$$Q_1 = (1.2 \div 2) Q$$

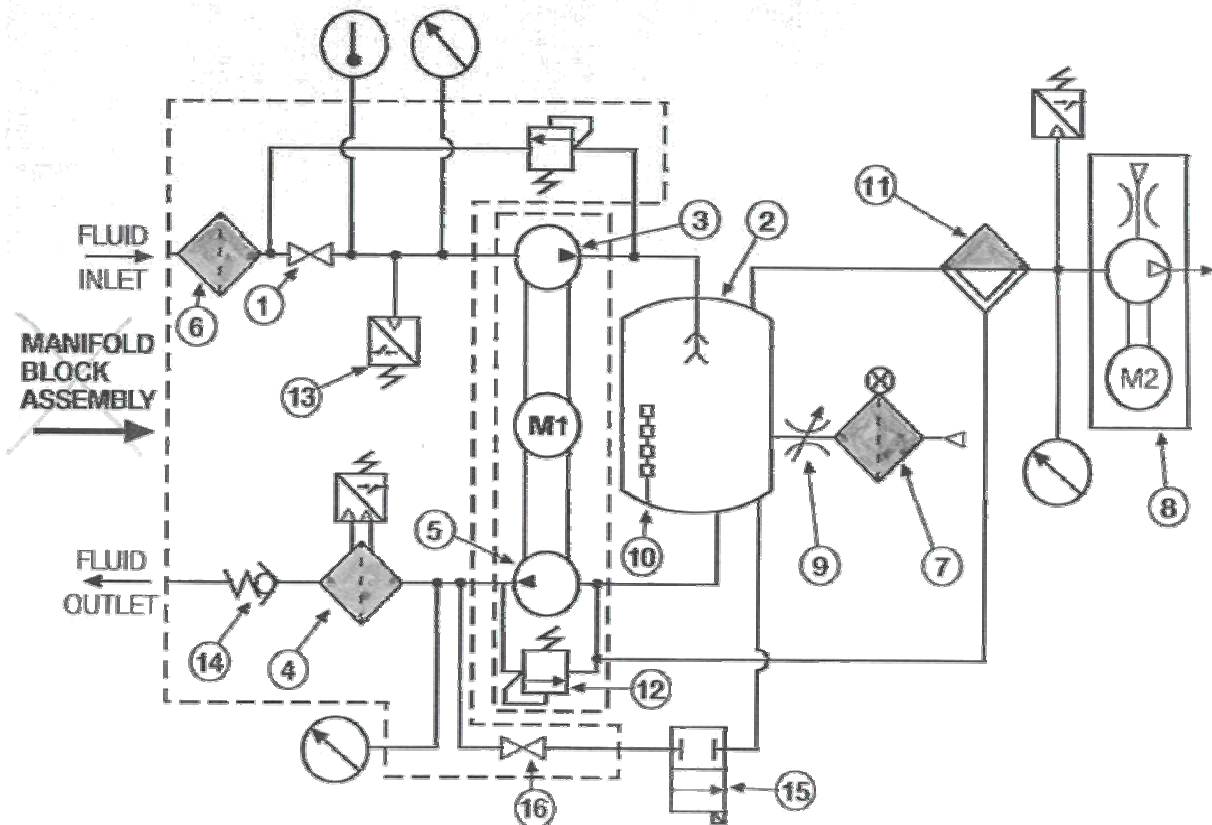
gde je  $Q$  – količina profiltriranog fluida.

Postoji bezbroj primera koji ukazuju na značajnu ulogu svake filterske pozicije. Od mnoštva primera biće navedena samo nekoliko:

Uređaj za prečišćavanje hidrauličnih i mazivnih fluida koristi se za uklanjanje prljavština slobodne i rastvorene vode, slobodnih i rastvorenih gasova.

Značajne pozicije ovog uređaja su

- ulazni filter ( *strainer* ) (6)
- ventilacioni filter (7)
- završni filter (4)



**Ulazni** filter štiti uredjaj od krupnih čestica i omogućava mu da se bavi onim funkcijama zbog kojih je i konstruisana.

**Ventilacioni** filter ( ventfilter, odušni filter ) ima zadatak da zaštiti uredjaj od ulaska čestica iz atmosfere. Imajući u vidu da ovakvi uredjaji uglavnom rade u kontaminiranim sredinama eventualno prisustvo ovakvih čestica imalo bi za posledicu nepravilan rad pa i totalnu obustavu rada ovakvog uredjaja.

**Završni** filter obezbedjuje zahtevani kvalitet tretiranog fluida čime vaznost njegovog prisustva i funkcionisanja ima veoma značajnu i posebno važnu ulogu.

Pravovremena i adekvatna zamena ovih filtera bitno utiče na funkcionisanje ovog uredjaja. Takodje, značaj ovih filtera sagledava se i na osnovu pravilne i odgovorne funkcije koju ovaj uredjaj obavlja, odnosno tretman hidrauličnih, turbinskih, trafo ulja čiji je kvalitet strogo definisan.

Tipovi tih filterskih elemenata propisani su od strane proizvođača opreme i konstitutivni su deo celog sistema. Mada je konstrukcija ovakvog uredjaja po pravilu zasnovana na ulaznim i zahtevanim izlaznim parametrima fluida koji treba da se tretira, dodatna prefiltracija fluida postavljena ispred uredjaja, može zaštitni uredjaj i sniziti troškove njegovog održavanja i eksploatacije. Ovakvi prefilteri obično su regenerativni, ekonomični i lako zamenljivi.

Kriterijum za njihov izbor je zasnovan na karakteristikama ulaznog filtera (6) i opterećenog fluida koji se tretira.

Uredjaj za filtraciju vazduha u prehrambenoj F&B ( food and beverage ) industriji koristi se za uklanjanje nečistoća i mikrobiološkog opterećenja vazduha.

Takav uredjaj se sastoji od

- Filtera za uklanjanje čestica, ulja i vode
- Filter sa aktivnim ugljem za uklanjanje mirisa i aroma
- Mikrobiološki filter

Filterski uredjaj koji se koristi u proizvodnji napitaka obezbedjuje najviši kvalitet vazduha koji treba da udje u finalni proizvod. Realizacija ovakve instalacije se jednostavno izvodi manometrima ispred i iza svakog kućišta čime se prati promena diferencijalnog pritiska svakog filterskog uložka. Instalacija može biti

realizovana i bez manometra kada se kao kriterijum zamene koriste podaci o prosečnom životnom veku svakog filterskog uložka, što je svakako relativan podatak. Tako uzeti podaci vezani su za određene radne uslove koji ne moraju uvek da budu ostvareni u konkretnim proizvodnim uslovima. Svakako sa stanovišta dobrog održavanja, ova realizacija ( sa manometrima ) je tehnički opravdanija. Posebno je odgovorna kontrola rada mikrobiološkog filtera čiju proveru integriteta treba vršiti pre svakog pokretanja u rad jedne ovakve instalacije. Takodje, značajnu ulogu za zaštitu i produženje kvalitetnog i trajnog rada cele instalacije ima i dodavanje jednog ciklona (4) ispred celog sistema.

## ZAKLJUČAK

Svi elementi izneti u ovom radu ukazuju na značaj i potrebu veoma pzbiljnog pristupa filtracije, izbora i upotrebe filtracionih uredjaja. Medjutim, na osnovu sagledanih okolnosti na našim prostorima u održavanju filtacionih sistema i dominiraju dve grupe zahteva: tehnički i ekonomski.

**Tehnički** zahtevi su oni koji su propisani od samog proizvođača filtracione opreme. Podrazumeva se da su ti tehnički zahtevi precizno formulisani i da ne ostavljaju nikakve nedoumice koje bi mogle dovesti do njihovog neobjektivnog ispunjavanja. Ovo podrazumeva da su tehnički zahtevi održavanja usaglašeni sa normama i propisima koji važe za filtracionu opremu. Kao primer jednoznačno definisanih tehničkih karakteristika filterske opreme može se izvesti podatak o stepenu zadržavanja filtera koji može biti apsolutani nominalan. Izostavljanje ovog podatka u tehničkoj dokumentaciji može dovesti do neadekvarnog i neobjektivnog pristupa ispunjavanja ovog veoma važnog tehničkog zahteva. Takodje izostavljanje ovog podatka od strane proizvođača celokupne opreme često je pokriveno oznakom filterskog elementa proizvođača te opreme. Ovim se proizvođač opreme čiji filterski element sastavni deo obezbedjuje da nabavka narednih filterskih elemenata ići preko njega.

**Tehnički** korektno održavanje ovakve filtracione opreme nije uvek i ekonomski optimalno. Aksiom dobrog održavanja je u svakom trenutku posedovati ekvivalentno alternativno rešenje za svaki zamenljivi filterski element. Jasno je da tehnički zahtevi treba da

igraju dominantnu ulogu u održavanju filtracione opreme. Sa stanovišta karakteristika filtracione opreme optimalan je onaj slučaj kada se ispunjavanje tehničkih zahteva realizuje pod povoljnim ekonomskim uslovima. Ekonomski zahtevi formulisani od strane korisnika filterske opreme često igraju presudnu ulogu u održavanju filtracione opreme, Sa različitim ekonomskim materijalima, uz formalno ispunjavanje tehničkih zahteva vrlo često se ispunjavaju osnovni tehnički filtracioni zahtevi što može da ima krupne posledice na funkcionisanje celog sistema koji sadrži taj filtracioni uredjaj.

### LITERATURA

1. \*\*\* Filtration Science and Technology - a Guide to the Fundamentals, Gelman Sciences, Publikacija firme Gelman, 1989.
2. \*\*\* Principles of Filtration, a Pall Scientific and Technical Report, Publikacija firme Pall, 1997.
3. \*\*\* Contamination, Control and Filtration Fundamentals, Pall Industrial Hydraulics, Publikacija firme Pall, 1997.
4. \*\*\* Filter Cartridge Technology for the Bioharmaceutical Industry, Publikacija firme Sartorius, 1999.
5. \*\*\* Membrane Separation Products, Publikacija firme Filtron, 1999.
6. Mitrović, V., M.: Reverzna osmoza, Zbornik radova – Izbor savremene opreme za objekte vodovoda, kanalizacije i zaštite životne sredine, Beograd, 2003.
7. Stanojević, M., Lazarević, B., Radić, D.: Review of membrane contactors designs and applications of different modules in industry, FME Transactions, University of Belgrade Faculty of Mechanical Engineering, New Series, Volume 31, Number 2, 2003, p. 91-98.
8. Golubović, Z., Mitrović, M.: Membranska filtracija – Od teorije do prakse, u štampi, 2003.
9. Mitrović, Č., Golubović, Z.: On Filtration and Separation in Aerospace, u štampi, 2003.

### MAINTENANCE OF THE FILTERING SYSTEMS

One of the most important steps in definitions of technology and constructive conception manufacturing systems is choosing types of filter and filter systems in which quality of using fluid is significant. Filtering systems are basic parts of technology process, otherwise their role is in human protecting, environmental, products and manufacturing process. The right chooses of filter and filter systems, adequate number of filtering steps, effective filtration on each step effect on decrease cost of manufacturing, optimism technology process as like as attain a prime performance of filtering systems.

Errors in filtering systems which issue like effect of contamination or inadequacy filtration can give manufacturing reduction, more maintenance expenses and other expenses of parts replacement before expire date. Because of that there is necessary to make optimization of technology process and make the right choice of filtering equipment.

This aspect is especially important in cases where we talking about water filtering. Water have specially role in maintenance of filtering systems. Thermo mechanical characteristics of water depended of technology process in which that filtering system is used. Characteristics of filtering systems can be different depended do we use them in pharmaceuticals industry or refinery. There is a collective point of quality and quantity of water which is used for maintenance of filtering systems. In this paper can find analysis of typical examples of define filtering systems, lateness grade, recommended of water quality, steam, chemical reagents or same other fluid which is used. Also there are examples of choosing of filtering equipment from aspect of complicated clutch, filter requirement, side equipment, human qualifications and human resorts. After analysis there are find adequate conclusions.

Key words: Filter, filtering system, maintenance