

# Mehanski separacijski postopki

Mehanski separacijski postopki so pogosto prvi sestavni del izolacijskih zaključnih postopkov v proizvodnih bioprocesov, z njimi pa si pomagamo tudi v kombinaciji z drugimi operacijami v zaključnih postopkih (Kogej, 1996).

## Sedimentacija

Sedimentacija ali usedanje je naravni pojav, ko se delci z večjo gostoto pod silo teže usedejo na najnižjo točko opazovanega sistema. Ta pojav izkoriščamo tudi za ločevanje bioprocesnih brozg.

## Usedalniki

Usedalniki so verjetno najcenejša oblika kakšne ločevalne naprave. Ker imajo za pogon le silo teže, so primerni le za ločevanje delcev večjih od 0,1 mm, a je tudi v tem primeru ločevanje zelo počasno (Kogej, 1996). Gledano s tehnološkega vidika, so usedalniki zagotovo najpreprostejše separacijske naprave. Kljub preprosti izvedbi pa od inženirja zahtevajo precej znanja. Ključna parametra sta zadrževalni čas in naklon samega usedalnika. Zadrževalni čas je odvisen od hitrosti usedanja delcev, za dovolj hitro praznjenje usedalnika pa skrbi ustrezen naklon (35 - 40°). Pomemben dejavnik je tudi sposobnost brozge za tvorbo flokul. Te se namreč tvorijo le pri ustreznih pogojih. Za ločevanje v usedalnikih so primernejše brozge z nizko koncentracijo suspendiranih trdnih delcev. Večinoma se uporabljajo v čistilnih napravah, kjer je zadrževalni čas ustrezno dolg in pri nekaterih izvedbah aerobnih bioreaktorjev z reciklacijo biomase. Na drugih področjih je uporaba usedalnikov v tradicionalnem pomenu besede redka, sam princip sedimentacije pa se velikokrat uporablja že kar v samem bioreaktorju (Ladisch, 2001). Lep primer tega je sedimentacija kvasnih flokul pri izdelavi piva.

## Centrifugiranje

Centrifugiranje je postopek ločevanja snovi glede na njihovo gostoto s pomočjo s centrifugo ustvarjene "sredobežnosti".

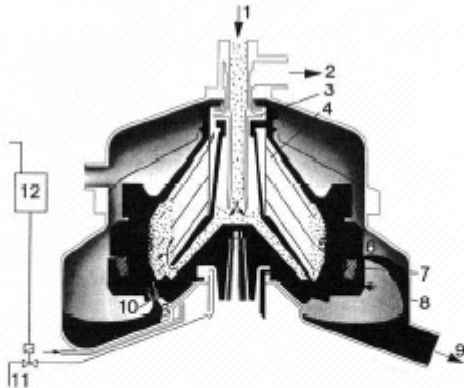
## Centrifuge

Centrifuge nam omogočajo, da pospešimo naravni pojav sedimentacije tudi za faktor 10<sup>4</sup>. Sila se povečuje s povečanjem kotne hitrosti in oddaljenosti od osi vrtenja. V praksi to pomeni, da lahko manjše, laboratorijske centrifuge, obratujejo z večjim številom obratov, kot tiste, ki jih uporabljamo v industriji. Maksimalna hitrost vrtenja centrifuge je omejena s količino mehanskega stresa, ki jo še prenese material, iz katerega je izdelana. Skupni mehanski stres, ki deluje na vrteče se dele centrifuge, je sestavljen iz lastnega mehanskega stresa

centrifuge in mehanskega stresa brozge v centrifugi (Kogej, 1996). Za varno delovanje vseh vrst centrifug je izredno pomembna uravnoteženost vrtečega se dela centrifuge.

V pripravljalnih zaključnih postopkih uporabljamo 3 glavne tipe centrifug. To so cevna centrifuga, centrifuga z diski, večkomorna centrifuga in centrifugalni dekanter (Datar, 1989).

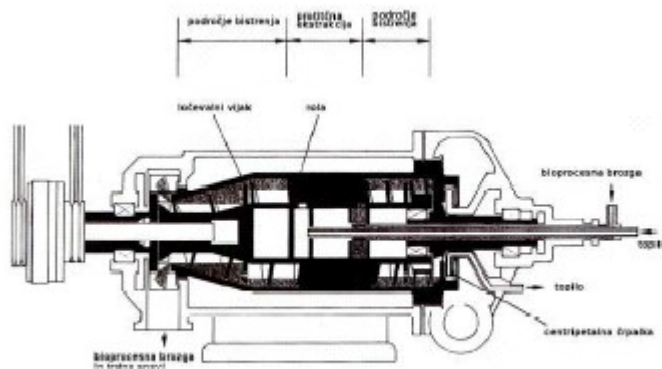
### **Centrifuga z diski**



Slika 1: Centrifuga s šobami, skozi katere se kontinuirno prazni koncentrat. 1. pritek brozge, 2. iztok za supernatant, 3. centripetalna črpalka, 4. diski, 5. prostor za trdno snov, 6. izmet trdne snovi, mehanizem za odstranjevanje gošče, 8. lovilec koncentrata, 9. odtok za koncentrat, 10. šobe, 11. dotok tehnološke vode, 12. naprava za merjenje časa. (Ladisich, 2001)

Centrifuga z diski (slika 1) se uporablja v biotehnologiji zaradi svoje kompaktnosti, možnosti, da deluje kot zaprt sistem in možnosti čiščenja s sistemom CIP (Cleaning in place).

### **Centrifugalni dekanter**



Slika 2: Prezrez dekanterja, ki se uporablja za ekstrakcijo (Ladisich, 2001)

Centrifugalni dekanter je vodoravno postavljena rotirajoča centrifuga, v kateri se vijak vrtil hitreje, kot obodna posoda in tako potiska koncentrirano brozgo proti enemu koncu, supernatant pa izteka na drugem koncu dekanterja. Dekanterji imajo zelo široko uporabo, saj nekateri proizvajalci ponujajo dekanterje, ki so sposobni ločevati brozge s koncentracijo od 0,1 % do 50 % pri velikosti delcev od 1 µm do 5 mm. Centrifugalni dekanterji so zato primerni za ločevanje mikroorganizmov le o dodatku flokulanta, ali če je bila bioprocena brozga že predhodno koncentrirana z na primer centrifugo z diski. Centrifugalni dekanter je možno uporabiti tudi za direktno ekstrakcijo antibiotikov iz micelija plesni, pri čemer ekstrakt, ki vsebuje antibiotik zapusti dekanter kot lažja faza, koncentrirani micelij pa kot težja faza. Druge pozitivne lastnosti dekanterjev so še: tiho, varno in zanesljivo delovanje, velika prilagodljivost (volumni od 1,5 l dalje) ter dokaj velika hitrost ločbe. (IHI Screw Decanter Centrifuge ... , 2004).

## Filtracija

Filtracija je tehnika ločevanja suspenzije (bioprocene brozge) v koncentrirano (filtracijsko pogačo ali retenat) in razredčeno (filtrat ali permeat) komponento s potiskanjem skozi filtrni medij, ki prepušča tekočino in zadržuje trdne delce. Sila, ki poganja filtracijski proces, je največkrat posledica razlike tlakov (nadtlak suspenzije ali podtlak pod filtrnim medijem), lahko pa je tudi posledica gravitacije ali centrifugalne sile. Na tem mestu velja poudariti, da je princip ločevanja pri membranskih procesih praktično enak, razlika je le v velikosti delcev, ki jih še lahko ločimo.

Pri ločevanju med posameznimi vrstami filtracij nam je lahko v pomoč tudi osnovna delitev načinov filtriranja (prehajanja suspenzije preko filtrnega medija) (Knez, 1996):

- globinsko ("deep bed"), pri katerem se delci nabirajo v filtrnem mediju,
- skozi filterno pogačo ("cake filtration"), pri katerem se delci nabirajo na filternem mediju,
- tangencialno ("cross flow"), pri katerem teče suspenzija vzporedno (tangencialno) s filtrnim medijem.

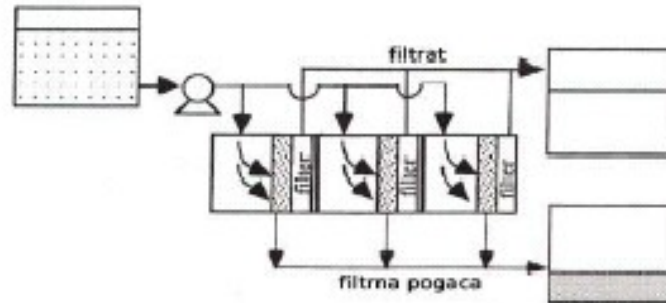
Prva dva načina filtracije se uporabljata pretežno za filtracijo delcev večjih od 1 µm, zadnji način pa je primernejši za manjše delce in je zato tudi najbolj pogosta oblika membranskih procesov.

## Naprave za filtracijo

### ***Filtrna stiskalnica***

Filtrna stiskalnica je ena najstarejših naprav za filtracijo, ki ji mnogi neupravičeno pripisujejo zastarelost. Moderne izvedbe teh naprav, ki so

popolnoma avtomatizirane, odpravljajo pomanjkljivost velike porabe delovne sile in ohranjajo prednosti, kot so kompaktnost, velika učinkovita filtrna površina in velika prilagodljivost (Ladisich 2001).

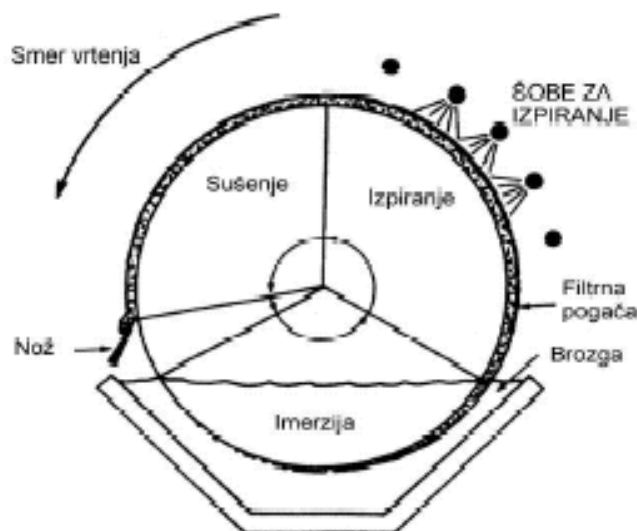


Slika 4: Shematični prikaz filtrne stiskalnice (Ladisich, 2001)

### **Rotacijski vakuumski filter**

Rotacijski vakuumski filter je najpogosteje uporabljena naprava za filtriranje v biotehnologiji. Sestavljena je iz perforiranega valja, na katerega nanese plast pomožnega filtrnega sredstva (inerten material). V samem valju je podtlak, spodnji del valja pa je potopljen v bioproceno brozgo. Zaradi podtlaka filtrat prehaja v notranjost valja, na zunanji strani valja pa se nabira pogača, ki se skupaj z tankim slojem pomožnega filtrnega sredstva, odreže, tik preden ponovno vstopi v brozgo. Valj se vrti s hitrostjo 0,3 do 3 min<sup>-1</sup>. Na zgornjem delu valja pogačo še dodatno izpiramo z vodo in tako izvajamo neko vrsto dodatne ekstrakcije (Knez, 1996).

Rotacijski vakuumski filter lahko doseže relativno velike površinske pretoke, vendar je uporaben le takrat, ko nas filtrna pogača ne zanima (ekstracelularni celični produkti). Naprava lahko obratuje v zaprtih ali odprtih sistemih (Ladisich, 2001).



Slika 5: Shematični prikaz korakov v ciklu rotacijskega vakuumkega filtra (Ladisich, 2001)

### **Druge vrste naprav za filtriranje**

V literaturi (Kogej, 1996; Ladisch, 2001; Datar, 1989) so navedene še naslednje vrste naprav za filtriranje:

- Tračni filter,
- listni filter,
- dehidratorji (dehidrator z zloženimi diski)
- ...

## **Membranski procesi**

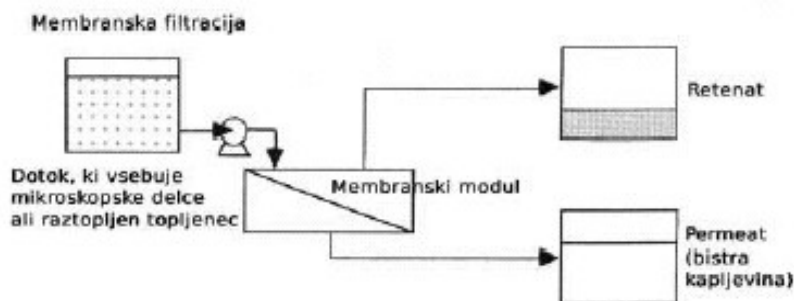
Membrane nam omogočajo, da postopek filtracije razširimo še na ločevanje koloidov, celic in molekul. Membranske procese lahko glede na velikost por razdelimo na:

- mikrofiltracijo (velikost por 0,45 - 0,42  $\mu\text{m}$  - ločevanje na nivoju delcev),
- ultrafiltracijo (5 do 5000 nm - ločevanje na nivoju makromolekul) in
- reverzno filtracijo (reverzna osmoza - polprepustna membrana), pri kateri je velikost por 0,5 do 5 nm (ločevanje na nivoju molekul).

Pri teh vrstah je sila, ki poganja sistem, posledica razlike v tlaku na obeh straneh membrane. Poznamo pa še pervaporacijo, pri kateri je pogonska sila razlika v parnih tlakih na obeh straneh membrane in elektrodializo, pri kateri je pogonska sila električna napetost med elektrodama, ki sta med seboj ločeni z ionskoizmenjevalnimi membranami.

### **Osnovna shema sistema za membranske procese**

Osnovna shema sistema je enaka za tiste vrste membranskih procesov, pri katerih je pogonska sila razlika v tlaku.



Slika 6: Shema membranske filtracije (Ladisch, 2001)

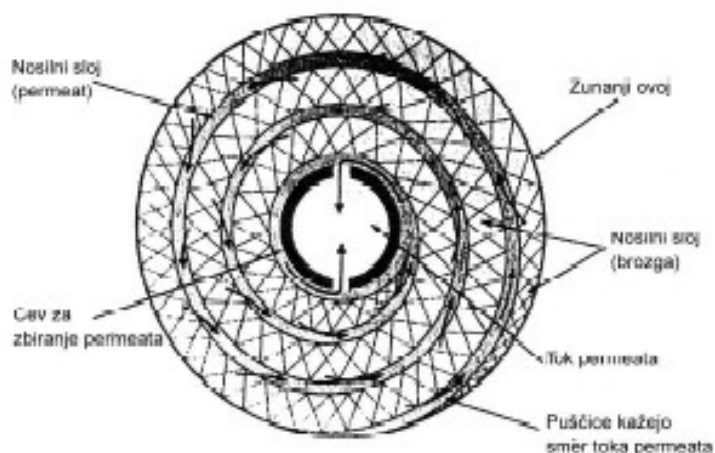
## Opisi posameznih komponent sistema

### Črpalke

Črpalke morajo dosegati tlake tja do 70 bar (pri reverzni osmozi). Pretoki pa so lahko zelo različni od sistema do sistema. Vsekakor so to veliki stroji, saj se uporabljajo med drugim tudi za desalinacijo morja, pri čemer so volumni izredno veliki (Ladisich, 2001).

### Membranski moduli

Membrane same so zelo tanke, in zato tudi občutljive na mehanske poškodbe. Da bi takšne poškodbe, ki največkrat nastanejo zaradi tlaka, preprečili, so membrane ponavadi pritrjene na nek nosilni sloj, katerega naloga je dajati membranam mehansko oporo. Nosilni sloj je izdelan iz inertnih polimerov, ki jih je možno poljubno oblikovati v membranske module, ki nam poleg mehanske stabilnosti membran zagotavljajo tudi kar največjo možno površino membrane na dano prostorsko enoto (Knez, 1996). V biotehnologiji se uporablja več vrst membranskih modulov:

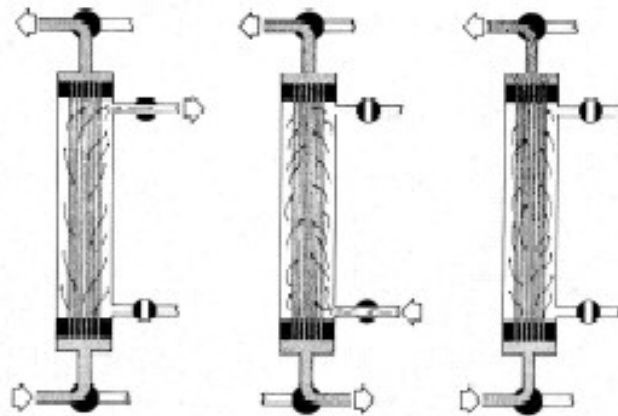


Slika 7: Prerez spiralnega modula (Ladisich, 2001)

1. Ploščni moduli (plate and frame). Po obliki morda nekoliko spominjajo na filtrno stiskalnico in imajo tudi podobne pomanjkljivosti, zaradi katerih se njihova uporaba opušča.
2. Spiralni moduli (slika 7) so sestavljeni iz membrane na plastičnem nosilcu, ki je potem zvita v zavitek. Ta zvitek se nahaja znotraj stabilnega ohišja, ki omogoča lažje rokovanje. Na sredini imajo ti

moduli drenažno cev za permeat.

Prednosti spiralnih modulov so nizka cena in velika volumska kapaciteta, pomanjkljivost pa občutljivost na suspendirane mehanske nečistoče, ki lahko mehansko zamašijo odtočne kanale v zvitku.



A. Normalna vzvratna pranje B. Čiščenje z permeatno vzvratno pranjem C. Čiščenje z recirkulacijo

Slika 8: Shema čiščenja večkanalnih membranskih modulov (Ladisich, 2001)

3. Cevni in večkanalni moduli nam omogočajo uporabo visokih tangencialnih hitrosti in filtriranje viskoznih suspenzij. Večkanalni keramični moduli so mehansko, kemično in toplotno zelo odporni. So zelo dragi, vendar jim prej omenjene lastnosti skupaj z možnostjo izpiranja dajejo skoraj neomejeno življenjsko dobo.