

# MEMBRÁN MŰVELETEK

Dr. Pécs Miklós  
Dr. Fehér Csaba



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,  
Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

# MEMBRÁN MŰVELETEK

2. **Koncentráció lépés(ek)** → a nagyobb mennyiségben jelen lévő szennyezéseket, elsősorban a vizet választjuk el.

Jellemző műveletek:

- Extrakció
- Adszorpció
- MEMBRÁNSZŰRÉS**
- Csapadékképzés (bepárlás, desztilláció)



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

2

## Bevezetés

A **membrán** közbenső fázis két fluidum között, amelyen szelektív anyagtranszport folyik.

A transzportok hajtóerejének megértéséhez végezzünk el egy gondolat-kísérlet:

Ultraszűrő membránnal választunk ketté egy folyadékteret, amelyben azonos koncentrációban vannak jelen az alábbi anyagok:

Mi történik?

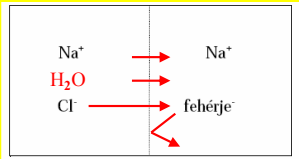
Na <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>
Cl <sup>-</sup>	fehérje <sup>-</sup>



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

3


A klorid ionok a koncentráció különbség hatására megindulnak a jobboldali térbe.



A fehérje ionok nem tudnak behatolni a bal oldali térbe.

A klorid ionok negatívá teszik a jobb oldali teret – ennek hatására a nátrium ionok is megindulnak jobbra.

A jobb oldali térben nagyobb lesz a koncentráció (klorid és nátrium ion többlet) ennek hatására ozmózis lép fel: a víz is diffundálni kezd a jobb oldali térbe.




BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

Hogyan kerül ez a rendszer egyensúlyba? Sem a koncentrációk, sem a töltések, sem az ozmózisnyomás nincsenek egyensúlyban!

A kémiai potenciálok válnak egyenlővé!

$$\mu_i = \mu_{i0} + S_i T + V_i p + RT \ln a_i + z_i F \phi + \dots$$

A membrántranszportnak többféle hajtóereje lehet!



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

## A membrános elválasztások csoportosítása

	Belépő fluidum	Kilépő fluidum	Hajtóerő	Átlép	Visszamarad
Gázpermeáció	gáz	gáz	koncentráció v. parciális nyomás	gáz	
Pervaporáció	oldat	Gáz (gőz)	koncentráció v. parciális nyomás	gáz	
Dialízis	oldat	oldat	koncentráció különbség	kis mol. anyagok	nagy mol. anyagok
Elektrodialízis	oldat	oldat	elektromos tér	ionok	
Reverz ozmózis	oldat	oldat	nyomás	oldószer	
Ultraszűrés	oldat	oldat	nyomás	kis mol. anyagok	nagy mol. anyagok
Mikroszűrés	szuszpenzió	oldat	nyomás	nagy mol. anyagok	kolloid részecskék
Szűrés	szuszpenzió	szuszpenzió	nyomás	kolloid részecskék	makro-részecskék



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

6

### Membránműveletek jellemzése

#### Gázpermeáció

- gázelegyenben egyes komponensek feldúsítása, „molekulaszita”

#### Pervaporáció

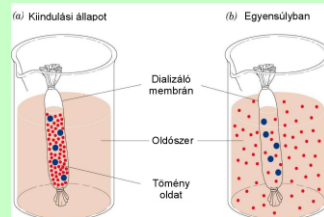
- folyadék komponensei anyagi minőségüktől függő mértékben oldódnak be a membrán anyagába és a túloldalon gőz formájában lépnek ki
- **hajtóerő:** komponens egyensúlyi gőznyomása és a gőztér nyomása közötti különbség → vákuum
- **biotechnológiai alkalmazása:** etanol fermentáció
- **analitikai alkalmazása:** közvetlen mintavételezés a fermentorból tömegspektrometriás méréshez



### Membránműveletek jellemzése

#### Dialízis

- fehérjék kis molekulatömegű szennyezőseinek eltávolítása (pl. ki-sózás után)
- **hajtóerő:** koncentrációkülönbség
- **mechanizmus:** diffúzió
- **laboratóriumi alkalmazás:** dializáló hüvely
- **orvosi alkalmazás:** művese



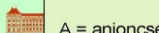
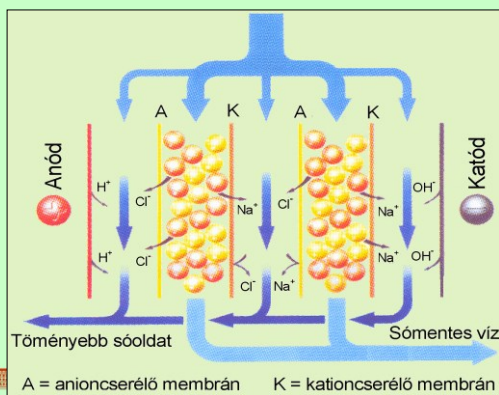
### Membránműveletek jellemzése

#### Elektrodialízis

- **hajtóerő:** elektromos tér – egyenfeszültség
- **mechanizmus:** diffúzió
- **szelektivitás:** az anion- és kationcserélő membránok csak a kötődő ionokat engedik át.
- **elektromos ellenállás:** 3 - 20 Ω/cm<sup>2</sup> (0.5 M NaCl oldattal egyensúlyban)
- **iontranszportszám:** 0.85 - 0.95
- **elektroozmózis:** 100 - 200 cm<sup>3</sup> víz/szállított ekvivalens ion
- **ellenirányú diffúzió**



### (Hagyományos) elektrodialízis

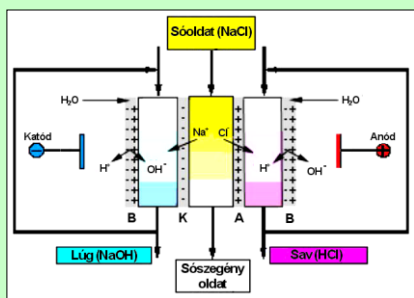


### Bipoláris elektrodialízis

Bipoláris membránok: anion- és kationcserélő réteget tartalmaznak.

Áram hatására a víz disszociál →

H<sup>+</sup> és OH<sup>-</sup> ionokat ad le.



### Membránműveletek jellemzése

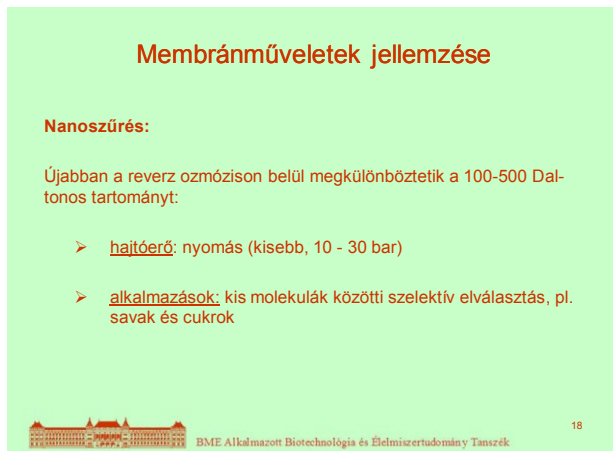
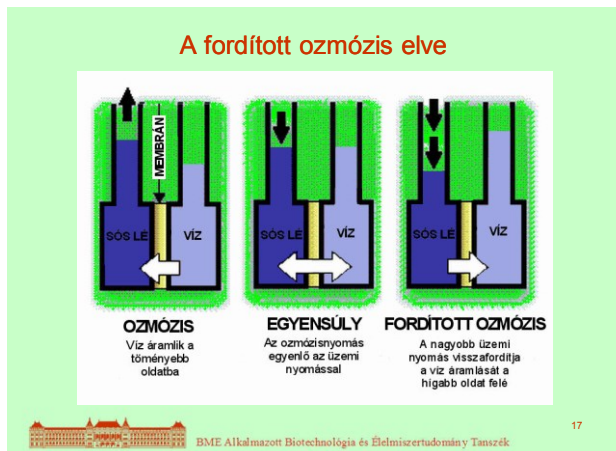
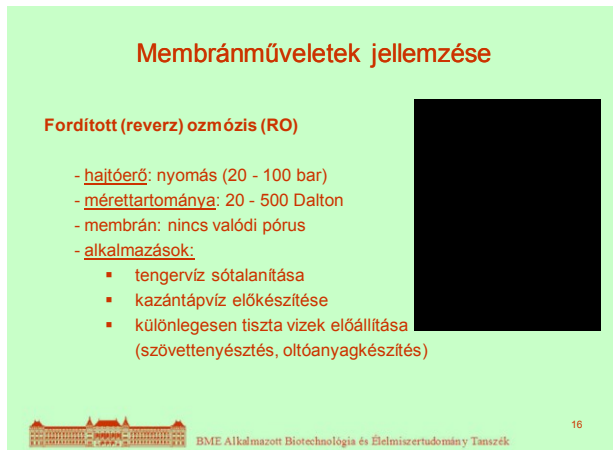
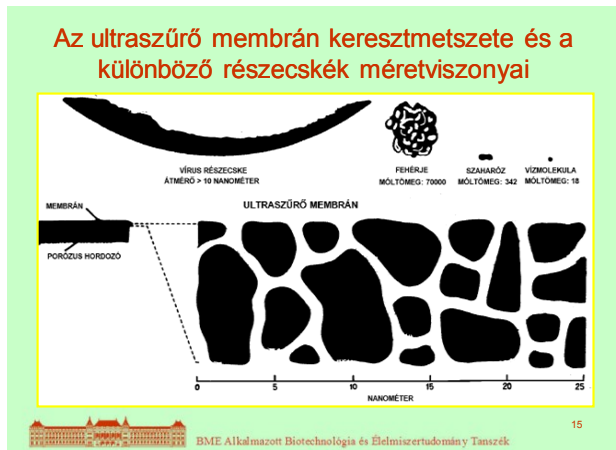
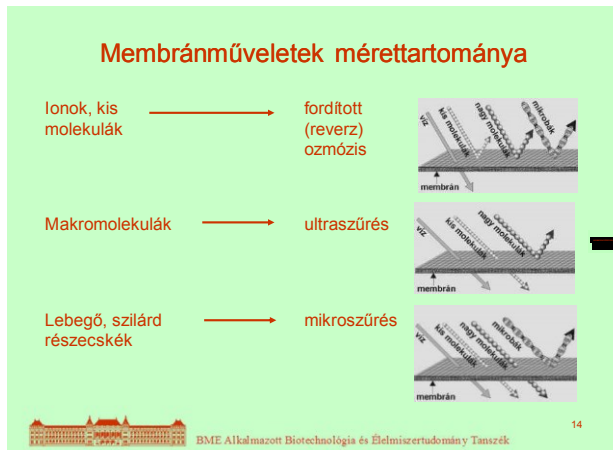
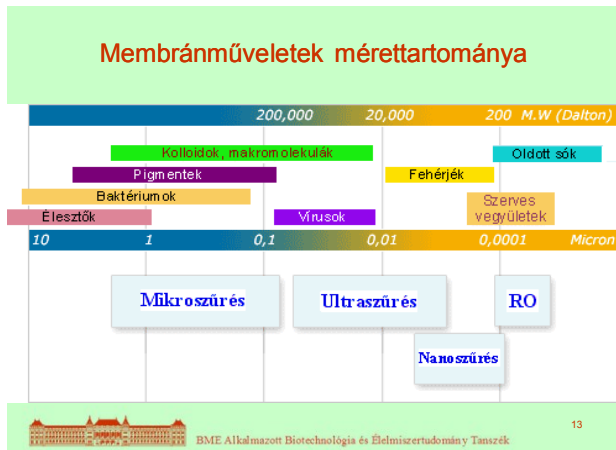
Az elektrodialízis alkalmazásai:

- nagy tisztaságú víz előállításához előkezelésként
- brakkvizek sótalanítása
- só előállítása tengervízből
- tejipari alkalmazások
- fermentációs felhasználások

Bipoláris elektrodialízis:

- savak felszabadítása sókból (pl. tejsav)
- borok savcsökkentése

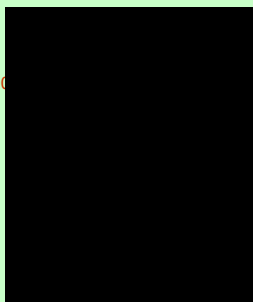




## Membránműveletek jellemzése

### Ultraszűrés (UF)

- mérettartománya: 500 – 100 000 nm
- valódi pórusok: 1 – 1000 nm
- méret szerinti elválasztás
- hajtóerő: nyomás (2 - 20 bar)



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

19

## Membránműveletek jellemzése

### Mikroszűrés

- lebegő, szilárd részecskék elválasztása
- jól definiált pórusok: 0,1 – 1 μm
- Szitahatás
- élő sejtek visszatartása
- élelmiszeripari alkalmazása: oldatok sterilizése



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

20

## A membrános elválasztások elmélete

### Koncentrációkülönbség hatására létrejövő komponens áram

Fick törvény:

$$J_i = -D_i \text{grad } a_i = D \frac{\Delta c}{L}$$

Megoszlási hányados:

$$K = \frac{c_{i1}}{c_{m1}} = \frac{c_{i2}}{c_{m2}}$$



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

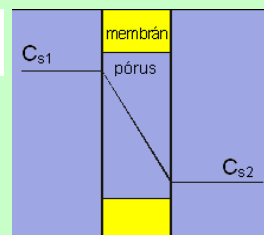
21

## Az elméleti koncentrációprofil

A diffundáló oldott anyag árama:

$$J_i = \frac{D}{L}(c_{m1} - c_{m2}) = \frac{DK}{L}(c_{i1} - c_{i2}) = P_m \Delta c_i$$

- D – diffúziós állandó
- L – pórus hossza
- K – „megoszlási hányados”
- P<sub>m</sub> – permeabilitás



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

22

## A membrános elválasztások elmélete

### Nyomáskülönbség hatására létrejövő komponens áram

D'Arcy törvénye:

$$J_{\text{vol}} = -\frac{k}{\mu} \text{grad } p \Rightarrow \frac{k \cdot \Delta p}{\mu L}$$

Hagen-Poiseuille törvény:

$$\Rightarrow \frac{N\pi r^4 \Delta p}{8\eta \Delta x}$$



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

23

## A membrános elválasztások elmélete

### Ozmózisnyomás-különbség hatására létrejövő komponens áram

Van't Hoff törvény:

$$\pi = RT \sum c_i$$

Eredő szűrletáram:

$$J_v = L_p(\Delta p - \Delta \pi)$$

Visszatartóképesség:

$$\sigma = 1 - \frac{c_{s2}}{c_{s1}}$$



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

24

### A membrános elválasztások elmélete

#### Anyagáram

az oldószerre:

$$J_v = L_p(\Delta p - \sigma \Delta \pi)$$

az oldott komponensekre:

$$J_i = P_m \Delta c_s + (1 - \sigma) c_s J_v$$

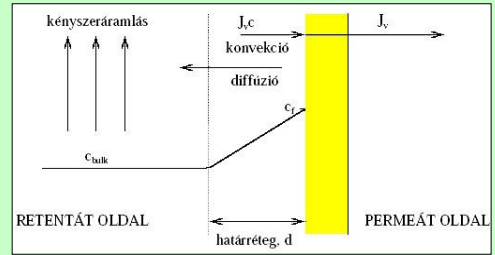
diffúziós  
transzport

konvekciós  
transzport



### Eltérések az elméleti koncentrácioprofíltól

#### Koncentrációs polarizáció



### Eltérések az elméleti koncentrácioprofíltól

Állandósult állapotban:

a konvekció a membrán felületére =  
= ellenirányú diffúzió a főtömegbe

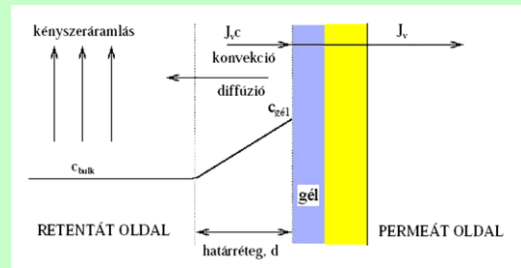
$$J_v c_{bulk} = D \frac{dc}{dx}$$

$$J_v = \frac{D}{x} \ln \frac{c_{felületi}}{c_{bulk}}$$



### Eltérések az elméleti koncentrácioprofíltól

#### Gélpolarizáció



### Eltérések az elméleti koncentrácioprofíltól

A határretegben:

$$J_v = K \ln \frac{c_{gélcsedési}}{c_{bulk}}$$

Ellenállásokkal felírva:

$$J_v = \frac{1}{R_m + R_{g1}} (\Delta p - \Delta \pi)$$

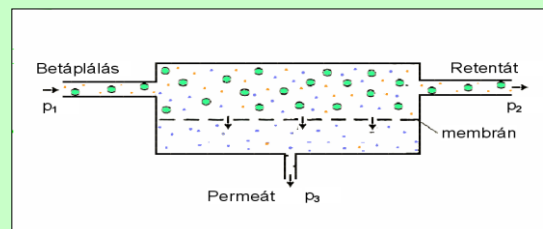


### A technológiai paraméterek hatása

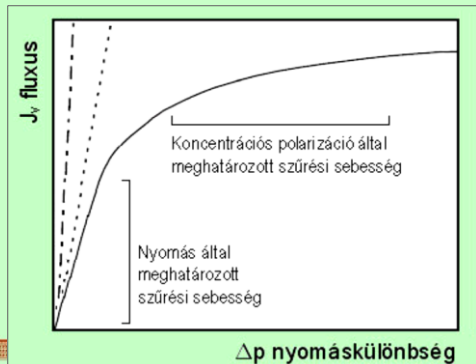
Nyomáskülönbség

hajtóerő:

$$\Delta p = \frac{p_1 + p_2}{2} - p_3$$



### A nyomáskülönbség hatása a membránszűrés sebességére



31

### A technológiai paraméterek hatása

#### Tangenciális sebesség

(keresztáramú szűrés, tangenciális szűrés)

#### Optimális áramlási sebesség meghatározása:

az áramlás gyorsítása növeli a szűrés sebességét és a retenciót de nő a szivattyúzás energiaigénye → és a rendszer melegebbé.

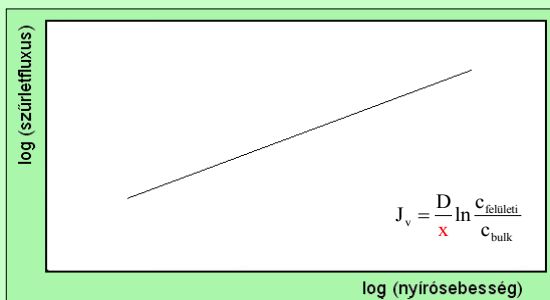
A turbulencia jellemezhető:  $Re$  szám  
 $P/V$   
 nyírósebesség



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

32

### A permeát fluxus és a nyírósebesség összefüggése

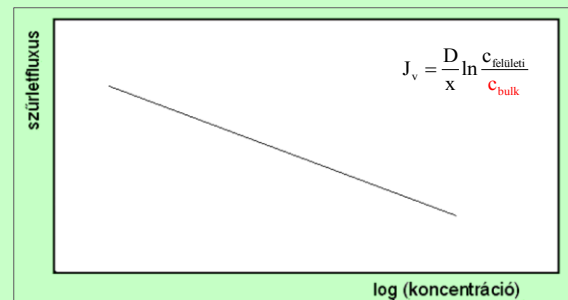


33



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

### A fehérjekoncentráció hatása a membránszűrés sebességére



34



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

### A technológiai paraméterek hatása

#### A membrán (ifjú)kora

A vadonatúj membrán tulajdonságai a legelső használatba vételnél erősen megváltoznak.

A membrán öregedésére ható legfontosabb tényezők:

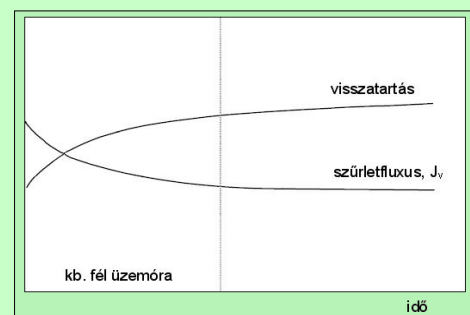
- a fehérjék adszorpciója a membrán felületén
- (irreverzibilis) gél vagy rétegeképződés a felületen
- szilárd részecskék (sejttörmelékek), vagy fehérjék "beszorulása" a membrán pórusaiba



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

35

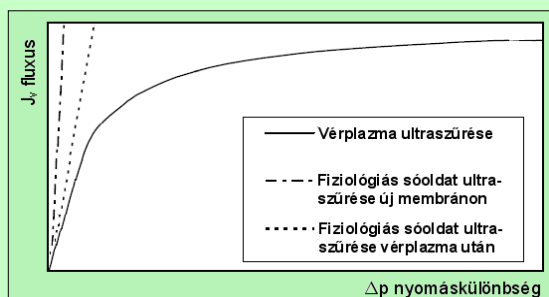
### Az új membrán tulajdonságainak változása



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

36

### A membrán "előéletének" hatása



### A technológiai paraméterek hatása

#### Hőmérséklet

- viszkozitás,
- adszorpciós folyamatok egyensúlyi viszonyai,
- molekulák diffúziós állandói,
- membrán anyagának tulajdonságai változnak.



### A technológiai paraméterek hatása

#### Káros hatások minimalizálása:

- koncentrációs polarizáció csökkentése
- adszorpció és aggregáció minimalizálása

#### Tisztítás, regenerálás:

- mosás
- kémiai kezelés (erős savak és/vagy bázisok)
- proteolitikus enzimekkel



### A membránszűrés anyagmérlegei

#### Alapfogalmak

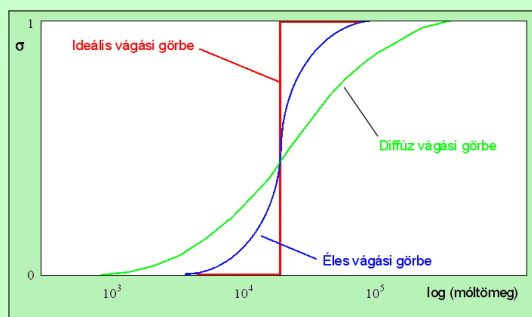
– membrán szelektivitása:

$$\sigma = 1 - \frac{c_p}{c_r}$$

– vágási (cutoff) érték: az a molekulatömeg, amelyet az adott membrán 90 %-ban (más konvenció szerint 50 %-ban) visszatart.



### Vágási görbék

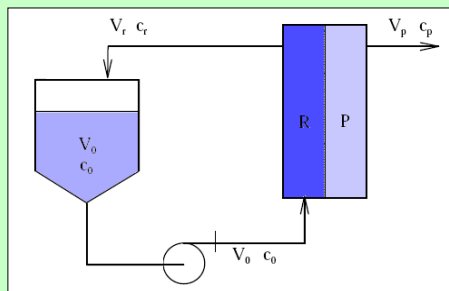


### A membránszűrés anyagmérlegei

- permeabilitás ( $L_p$ ) vagy víztéték: a tiszta oldószer (ionmentes víz) fluxusa a membránon üzemi nyomáson és hőmérsékleten. [ $\text{m}^3/\text{m}^2 \times \text{h}$ ] vagy [ $\text{m}^3/\text{m}^2 \times \text{h} \times \text{bar}$ ]
- folyadékáramok:
  - betáplálás (feladás, input) ( $V_0$ ;  $c_0$ )
  - membránon áthaladó anyag: szűrlet = permeátum ( $V_p$ ;  $c_p$ )
  - visszatartott anyag: koncentrátum = retentát ( $V_r$ ;  $c_r$ )



### Membránszűrő berendezés folyamatábrája



### A membránszűrés anyagmérlegei

- koncentrációs faktor (CF): a visszatartott komponensek betöményítésének mértékét adhatjuk meg vele:

$$CF = \frac{\text{bevitt térfogat}}{\text{visszatartott térfogat}} = \frac{V_0}{V_r}$$

- kihozatal (recovery): a megszárt, megtisztított oldat mennyiségére jellemző:

$$R = \frac{\text{permeát térfogat}}{\text{bevitt térfogat}} = \frac{V_p}{V_0}$$

- összefüggésük:

$$CF = \frac{1}{1-R}$$

### A membránszűrés anyagmérlegei

#### Koncentrációs membrán

Az oldat keringetése során az oldószer és a vissza nem tartott komponensek folyamatosan távoznak a rendszerből, ezáltal a térfogat csökken, azaz a visszatartott komponensek koncentrációja növekszik.

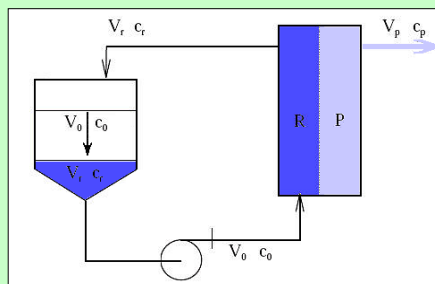
Anyagmérleg:

$$V_0 c_0 = V_r c_r + V_p c_p$$

$$c_p = \frac{V_0 c_0 - V_r c_r}{V_p}$$

$$c_r = \frac{V_0 c_0 - V_p c_p}{V_r}$$

### Membrános koncentrációs folyamatábrája



### A membránszűrés anyagmérlegei

A koncentrációs differenciális anyagmérlege:

$$\frac{d(V_r c_r)}{dt} = 0 - W c_r (1 - \sigma) \quad \text{ahol:} \quad W = -\frac{dV}{dt}$$

integrálva:

$$\ln \frac{c_r}{c_0} = \sigma \ln CF \quad \longrightarrow \quad c_r = c_0 CF^\sigma$$

### A membránszűrés anyagmérlegei

#### Elválasztás membránszűréssel

A különböző visszatartást az eltérő  $\sigma$  értékek számszerűsítik. Azonos  $\sigma$  értékek esetén az elválasztás nem valósítható meg.

Elválasztás vizsgálatához:

$$\frac{c_{1R}}{c_{2R}} = \frac{c_{10}}{c_{20}} \frac{CF^{\sigma_1}}{CF^{\sigma_2}}$$

$$\left( \frac{c_1}{c_2} \right)_R = \left( \frac{c_1}{c_2} \right)_0 CF^{(\sigma_1 - \sigma_2)}$$



### Sajtgyári savó ultraszűrése

4.3.5.3.1. táblázat: Sajtgyári savó ultraszűrése

	Betáplált savó	Koncentrátum	Permeátum
Fehérje, %	0.80	5.87	0
Laktóz, %	4.80	4.80	4.80
Só, %	0.70	0.70	0.70
Zsír, %	0.05	0.37	0
Fehérje % /összes szárazanyag	12.60	50.00	0
Laktóz % / összes szárazanyag	75.59	40.89	87.27
Fehérje/laktóz %	16.67	122.29	0



### A membránszűrés anyagmérlegei

#### Diaszűrés

Víz hozzáadásával és szűrlet formájában való elvételével a kis molekulatömegű anyagokat szelektíven eltávolítják, kimossák az oldatból.

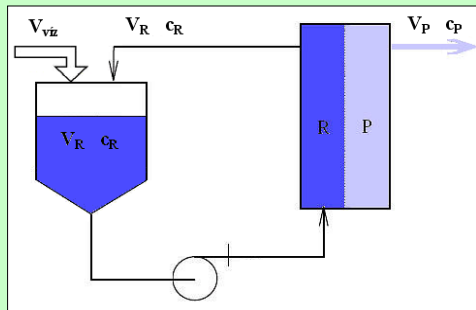
Állandó retentát térfogat:

$$V_0 = V_R$$

$$V_P = V_{\text{víz}}$$



### A diaszűrés folyamatábrája



### A diaszűrés anyagmérlegei

Anyagmérleg:

$$\frac{d(V_R c_R)}{dt} = 0 - W c_R (1 - \sigma)$$

mivel  $V_R = V_0 = \text{állandó}$ :

$$V_R \frac{dc_R}{dt} = 0 - \frac{dV_{\text{víz}}}{dt} c_R (1 - \sigma)$$

integrálva:

$$\ln \frac{c_R}{c_0} = - (1 - \sigma) \frac{V_{\text{víz}}}{V_0} \rightarrow c_R = c_0 e^{- (1 - \sigma) \frac{V_{\text{víz}}}{V_0}}$$



### A membránszűrés anyagmérlegei

Teljes visszatartás esetén (nagy molekulatömeg,  $\sigma = 1$ ):

$$c_R = c_0 \rightarrow \text{a koncentráció nem csökken.}$$

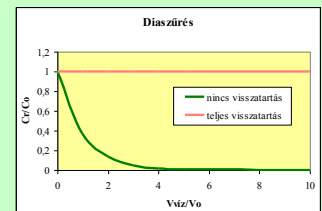
Kis molekulájú anyagoknál ( $\sigma = 0$ ):

$$c_R = c_0 e^{- (1 - \sigma) \frac{V_{\text{víz}}}{V_0}} \rightarrow \text{a koncentráció exponenciálisan csökken.}$$



### Diaszűrés

	Eltávolítás, %
1	63.2121
2	86.4665
3	95.0213
4	98.1684
5	99.3262
10	99.9995



### A diaszűrés anyagmérlegei

Elválasztás, tisztítás diaszűréssel

két komponensre:

$$\left(\frac{c_1}{c_2}\right)_K = \left(\frac{c_1}{c_2}\right)_0 \exp\left[-\frac{V_{viz}}{V_0}(\sigma_2 - \sigma_1)\right]$$



### Diaszűrés

4.3.5.6.1. táblázat: Diaszűrés hatása a makromolekulák tisztaságára

$\frac{V_{viz}}{V_0}$	Csűrítje %	$c_{s0}$ %	$\frac{c_{s0}}{Csűrítje}$	összes szárazanyag	$\frac{Csűrítje}{összes szárazanyag}$ %
0	15	4,00	0,27	19,0	79,0
1	15	1,50	0,10	16,5	90,9
2	15	0,54	0,04	15,5	96,8
3	15	0,20	0,01	15,2	98,7



### A membránszűrés anyagmérlegei

Az ultraszűrés munkavonala

$$J_v = \frac{D}{x} (\ln c_f - \ln c_{bulk})$$

konstansokkal felírva:

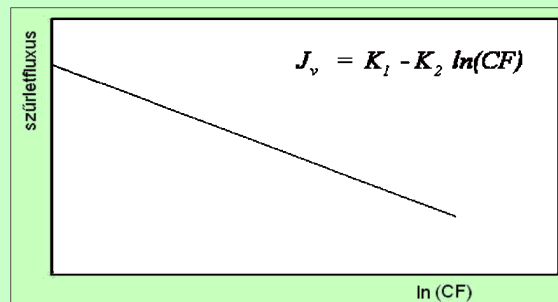
$$J_v = A_1 - A_2 \ln c_b$$

$$c_R = c_0 CF^\sigma$$

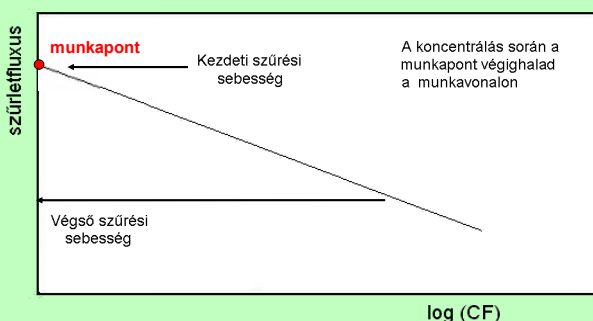
$$J_v = K_1 - K_2 \ln CF$$



### Az ultraszűrés munkavonala



### A membránszűrés munkavonala



### A membránszűrés anyagmérlegei

Térfogatáram:

$$\frac{dV}{dt} = -AJ_v$$

Átlagos fluxus:

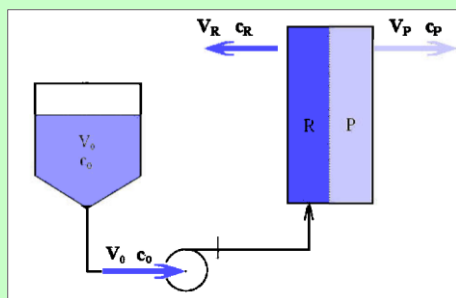
$$J_v = L_p (\Delta p - \Delta \pi)$$

Szűrési idő:

$$t = \frac{1}{AL_p \Delta p} \left( V_0 - V + \frac{RTn}{\Delta p} \cdot \ln \left( \frac{V_0 - RTn/\Delta p}{V - RTn/\Delta p} \right) \right)$$



### A folyamatos membránszűrés folyamatábrája



### A membránszűrés anyagmérlegei

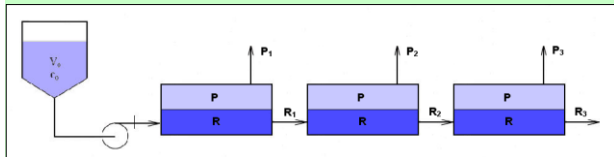
A koncentrációs faktor értelmezése megváltozik:

$$CF = \frac{\text{betáplált térfogatáram}}{\text{koncentrátum térfogatáram}} = \frac{W_0}{W_r} = \text{állandó}$$

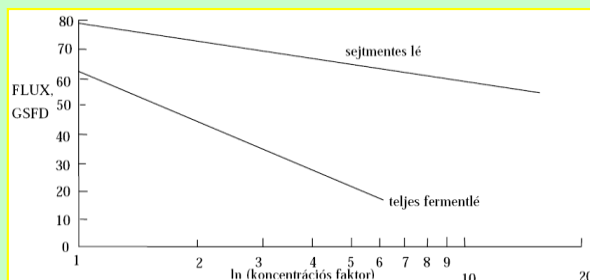
- Folyamatos működés → állandósult állapot → a paraméterek az idővel alig változnak → csak a membrán "öregeése", miatt
- Állandó retentát oldali koncentráció → állandó fluxus → a munkapont nem vándorol → a berendezés állandóan a legnagyobb fluxus értéken működik

### A többlépcsős folyamatos membránszűrés folyamatábrája

$$CF_1 = \sqrt[3]{CF_{\text{összes}}}$$



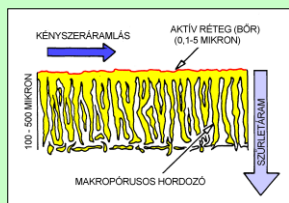
### Teljes és szűrt fermentlé membránszűrésének összehasonlítása



### A membránok jellemzői

#### Membránok csoportosítása

Szerkezet szerint: izotróp vagy anizotróp



### A membránok jellemzői

Ha a membrán rétegei eltérő anyagból készülnek, akkor beszélünk összetett, vagy **kompozit membránról**.

Hagyományos **szénalapú polimer hátrtyát** szinte bármely hordozóra fel lehet vinni, de előfordulnak teljesen szervesetlen rendszerek is, pl. **fémoxid bevonat** szinterelt kerámián.

A  **folyadékmembránok** nem elegendő folyadék réteget képeznek, amely szelektíven engedi át a különböző komponenseket → két permeábilis film között, folyadék felszínén, emulgeáló szerekkel vagy anélkül is létrehozható.

## A membránok jellemzői

### Membránok előállítása

#### Alapanyagok:

- regenerált cellulóz
- polimerek (teflon, polyszulfon, poliakrilonitril, PVC, poliészter, polietilén, polipropilén)
- kerámia
- fémek

Tendencia: egyre ellenállóbb, nagyobb hőmérsékleten és extrém pH értékeken is használható membránok.



## A membránok jellemzői

### Módszerek:

- vizes kicsapás (lap, cső-, és üregesszál membránok előállítására)
- illékony oldószerben oldott polimerek esetében a felületről elpárolgó oldószerből filmréteg marad vissza
- kicsapás hűtéssel
- szintereléssel (porkohászati úton) (kerámia, fémek, teflon)
- extrudálással ill. húzással



## A membránok jellemzői

### Pórusok utólagos létrehozásának eszközei:

- nyújtás (a pórusok közel azonos méretűek, de nem kör keresztmetszetűek)
- lézersugaras perforálás
- bombázás elemi részecskékkel (a besugárzás következtében létrejött szerkezeti hibákat maratófürdőben tágtíjjá pórusokká)



## Membránmodulok

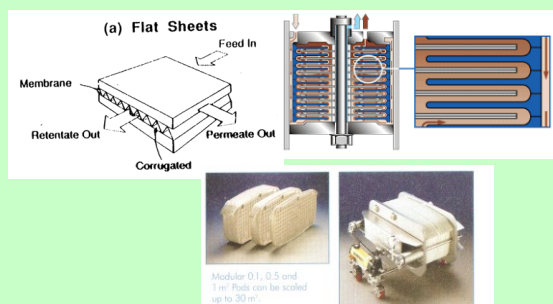
Hordozóval, távtartókkal, csatlakozókkal, burkolattal ellátott cserélhető egységek az ún. membránmodulok.

### Főbb kialakítási típusaik:

- sík formájú membránok (csak lamináris áramlás)
  - **lapmembránok** (legrégibbi, több rétegű lehet, eltömődésre hajlamos, könnyen javítható)



## Lapmembrán modulok

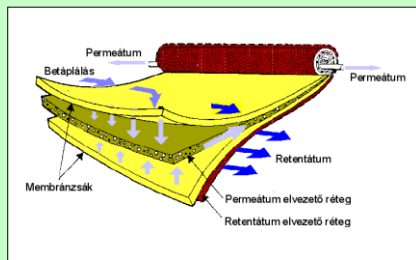


## Lapmembrán modulok



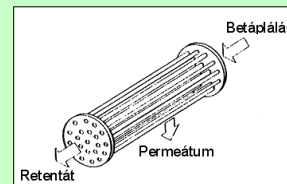
## Membránmodulok

**spirális membránmodulok:** feltekercselt zsákszerű membránokból áll. Távtartó háló. Nem javítható.



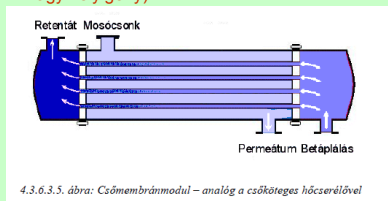
## Csőmembrán modulok

- cső formájú membránok (turbulens áramlás is lehet)
- **csőmembránok** (belső méret 12-25 mm, belső és külső me-revítésűek, 6-20 cső egy modulban, egyszerű tisztítás, nagy helyigény)



## Csőmembrán modulok

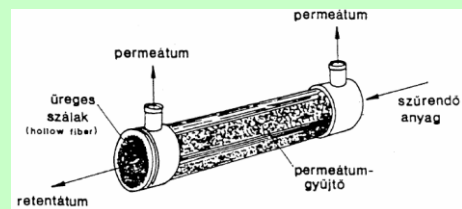
- cső formájú membránok (turbulens áramlás is lehet)
- **csőmembránok** (belső méret 12-25 mm, belső és külső me-revítésűek, 6-20 cső egy modulban, egyszerű tisztítás, nagy helyigény)



4.3.6.3.5. ábra: Csőmembránmodul – analóg a csőköteges hőcserélővel

## Membránmodulok

- **üregesszál (hollow fiber) membránok** (belső méret 0,5-1,5 mm, üzemi nyomás korlátozott, több száz szál egy modulban)



## Membránmodulok



## Membránmodulok

- **mikrokapilláris membránok** (belső méret 5-20  $\mu\text{m}$ , több ezer kapilláris egy modulban, nagy nyomásesés, kis áramlási sebesség)

### Ipari membránszűrő telep



### Szervetlen (kerámia, fém) modulok

Szinterelés : porkohászati formázás. Az elválasztás a járatok belső felületén kialakított vékony, szűkebb pórusú kerámiaártegen történik.

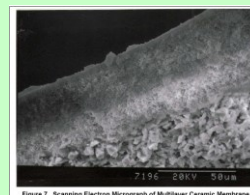
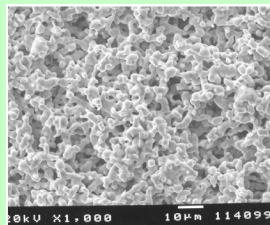
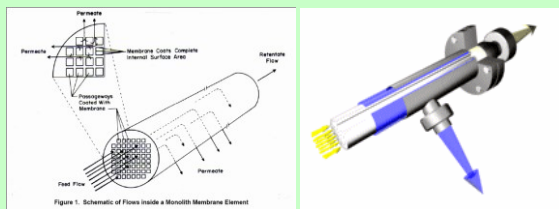


Figure 7. Scanning Electron Micrograph of Multilayer Ceramic Membrane

### Szinterelt membránok

A permeátum a kerámia test pórusaiban vándorolva a hasáb külső felületén jelenik meg.



### Szinterelt membránok

Szinterelt kerámia hasáb, amelyben párhuzamosan csőszerű járatok futnak.



### Üzemközi membránvizsgálat. Buborékpont meghatározása

Mikor kell cserélni a használt membránt? → üzemközi vizsgálatok → víztérték, integritásvizsgálat.

**Víztérték:** fehérjék adszorpciója irreverzibilis változásokat okoz → vizsgálat: köbözés

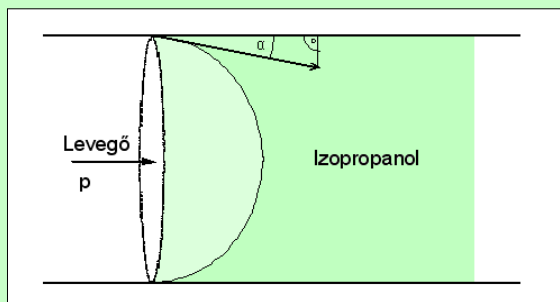
### Üzemközi membránvizsgálat. Buborékpont meghatározása

**Integritásvizsgálat:** buborékpont meghatározás

elsősorban hidrofil, mikropórusos membránoknál használható

alapelv: ha egy kapillárisból gáznomással szorítjuk ki a folyadékot, a nyomás és a kapilláris átmérője fordítottan arányos egymással.

### A gáz-folyadék határfelület kapillárisban



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

85

### Üzemközi membránvizsgálat. Buborékpont meghatározása

Az erőegyensúly:

$$p_{\text{gáz}} \left[ \frac{d^2 \pi}{4} \right] = d \pi \gamma \cos \alpha$$



$$p_{\text{gáz}} = \frac{4 \gamma \cos \alpha}{d}$$

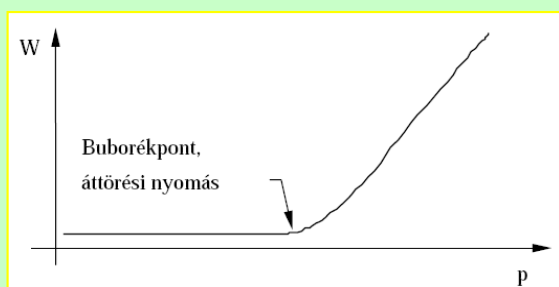
Ha fokozatosan növeljük a gáz nyomását, akkor elsőként a legnagyobb átmérőjű pórusból szorul ki a folyadék, tehát az áttörési nyomás (buborékpont) jellemző a legnagyobb pórus méretére.



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

86

### A buborékpont meghatározás térfogatáram-görbéje



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

87