

MEMBRÁN MŰVELETEK

Dr. Pécs Miklós



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,
Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

MEMBRÁN MŰVELETEK

2. Koncentráló 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

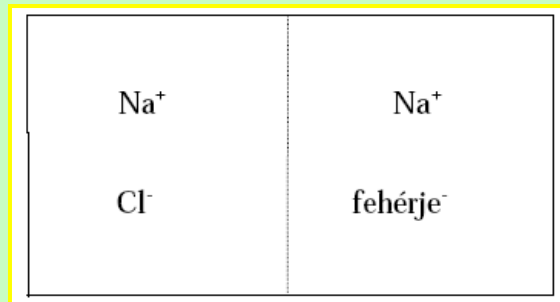
Bevezetés

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

A transzportok hajtóerejének megértéséhez végezzünk el egy gondolatkísérlet:

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

Mi történik?

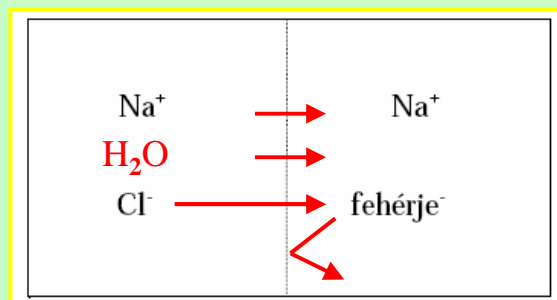


BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

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 negatívvá 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	Vissza-marad
Gázpermeáció	gáz	gáz	koncentráció v. parciális nyomás	gáz	
Pervaporáció	oldat	gáz	koncentráció v. parciális nyomás	gáz	
Dialízis	oldat	oldat	koncentráció különbség	kismol. anyagok	nagymol. anyagok
Elektrodialízis	oldat	oldat	elektromos tér	ionok	
Reverz omózis	oldat	oldat	nyomás	oldószer	
Ultraszűrés	oldat	oldat	nyomás	kismol. anyagok	nagymol. anyagok
Mikroszűrés	szuszpenzió	oldat	nyomás	nagymol. anyagok	kolloid részecskék
Szűrés	szuszpenzió	szuszpenzió	nyomás	kolloid részecskék	makro-részecskék



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

6

Membránműveletek jellemzése

Gázpermeáció

- gázelegyben 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 közti különbség ————— vákuum
- biotechnológiai alkalmazása: etanol fermentáció
- analitikai alkalmazása: közvetlen mintavételezés a fermentorból tömegspektrometriás méréshez



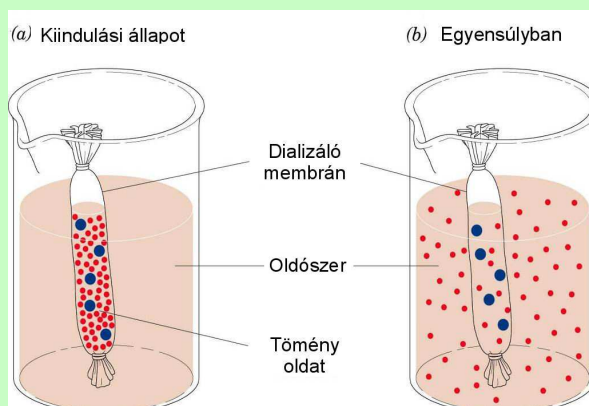
BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

7

Membránműveletek jellemzése

Dialízis

- fehérikék kis molekulatömegű szennyezéseinek eltávolítása (pl. ki-sózás után)
- hajtóerő: koncentráció-
- mechanizmus: diffúzió
- laboratóriumi alkalmazás: dializáló hüvely
- orvosi alkalmazás: művese



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

8

Membránműveletek jellemzése

Elektrodialízis

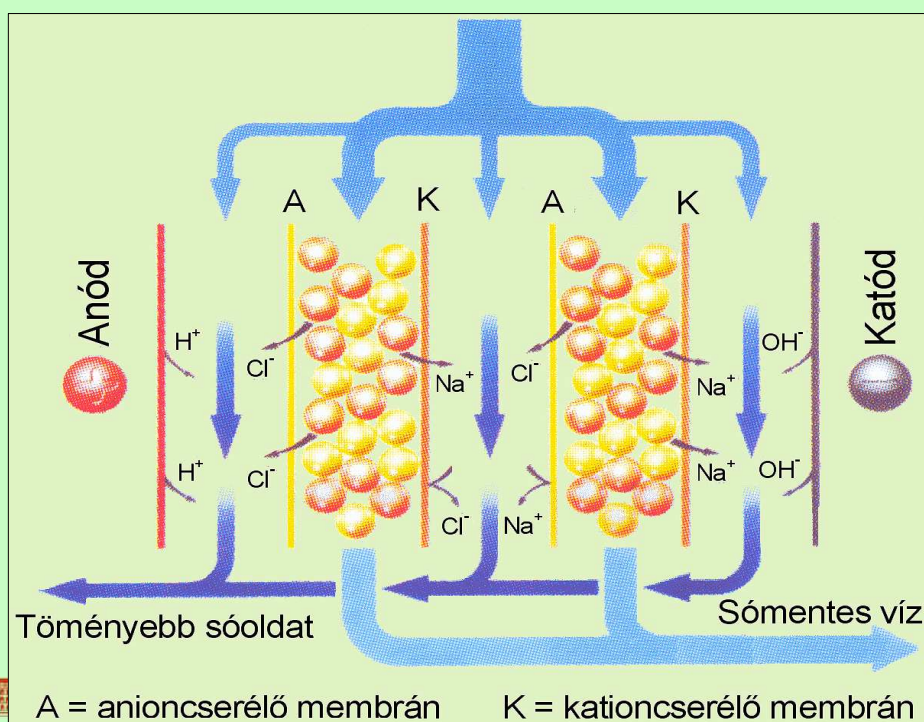
- hajtóerő: elektromos tér – egyenfeszültség
- mechanizmus: diffúzió
- szelektivitás: az anion- és kationcserélő membránok csak a kötődő ionokat engedik át.
- elektromos ellenállás: 3 - 20 Ω/cm^2 (0.5 M NaCl oldattal egyensúlyban)
- iontranszportszám: 0.85 - 0.95
- elektrooszmózis: 100 - 200 cm^3 víz/szállított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



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

9

(Hagyományos) elektrodialízis



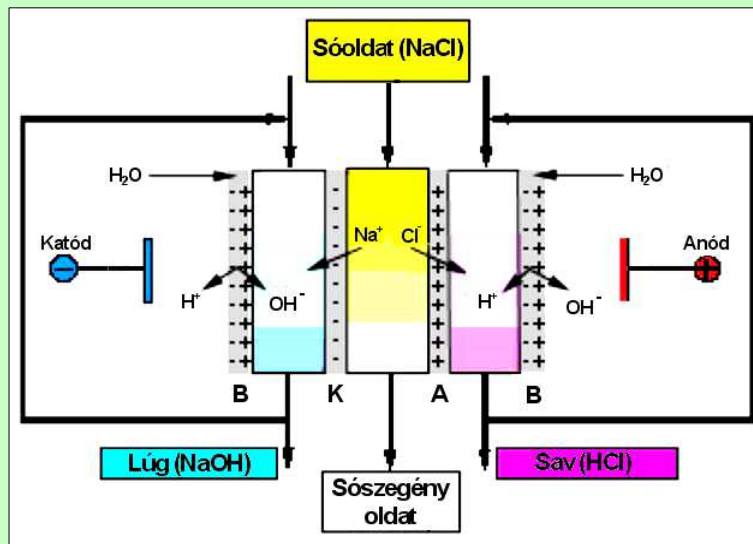
10

Bipoláris elektrodialízis

Bipoláris membránok: anion- és kationcserélő réteget tartalmaznak.

Áram hatására a víz disszociál →

H^+ és OH^- ionokat ad le.



Membránműveletek jellemzése

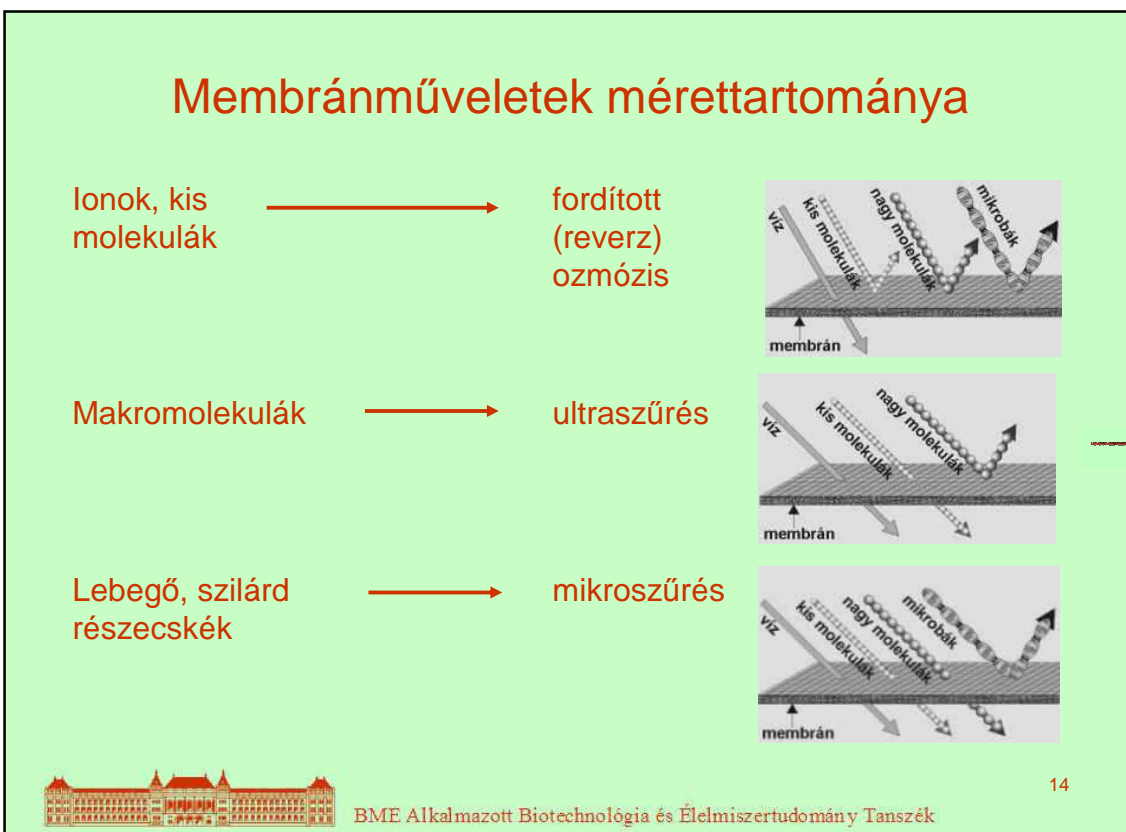
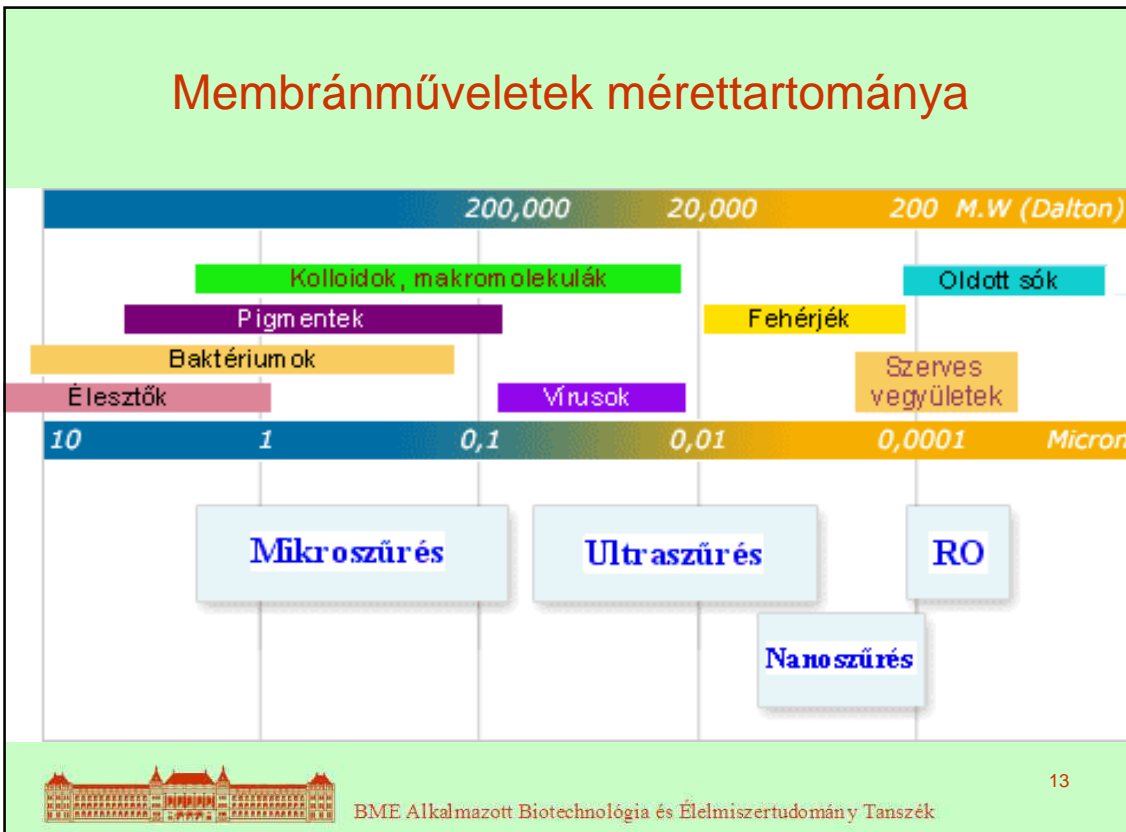
Az elektrodialízis alkalmazásai:

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

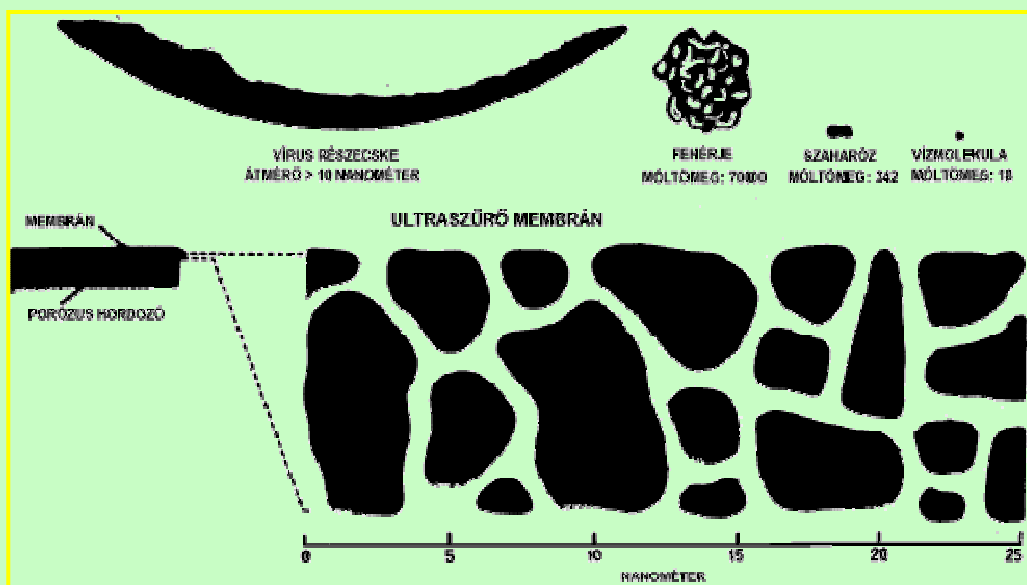
Bipoláris elektrodialízis:

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





Az ultraszűrő membrán keresztmetszete és a különböző részecskék méretviszonyai



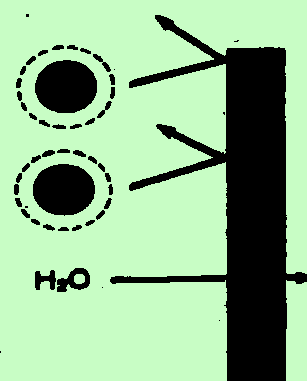
BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

15

Membránműveletek jellemzése

Fordított (reverz) ozmózis (RO)

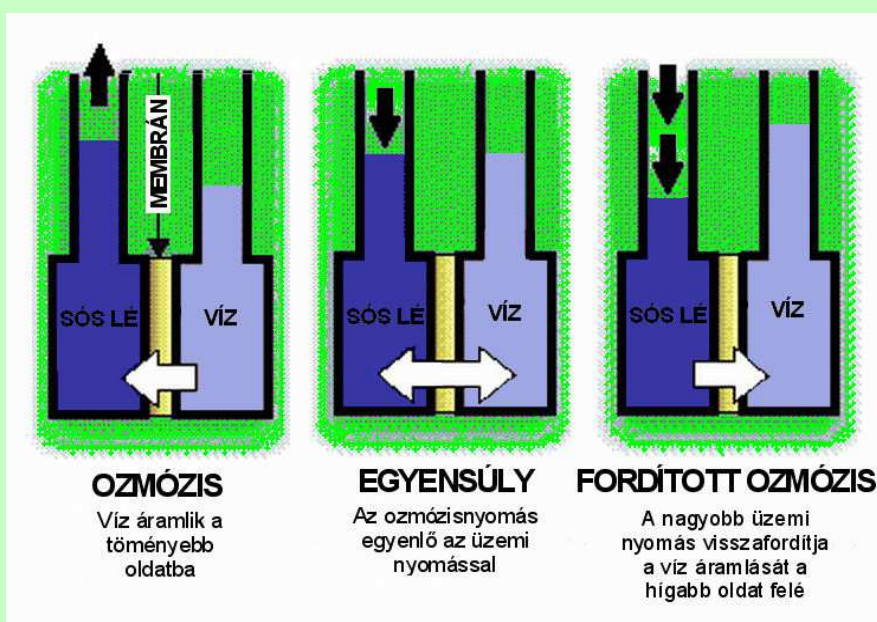
- hajtóerő: nyomás (20 - 100 bar)
- mérettartománya: 20 - 500 Dalton
- membrán: nincs valódi pórus
- alkalmazások:
 - tengervíz sótalanítása
 - kazántápvíz előkészítése
 - különlegesen tiszta vizek előállítása (szövettenyésztés, oltóanyagkészítés)



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

16

A fordított ozmózis elve



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

17

Membránműveletek jellemzése

Nanoszűrés:

Újabban a reverz ozmózison belül megkülönböztetik a 100-500 Daltonos tartományt:

- hajtóerő: nyomás (kisebb, 10 - 30 bar)
- alkalmazások: kis molekulák közötti szelektív elválasztás, pl. savak és cukrok



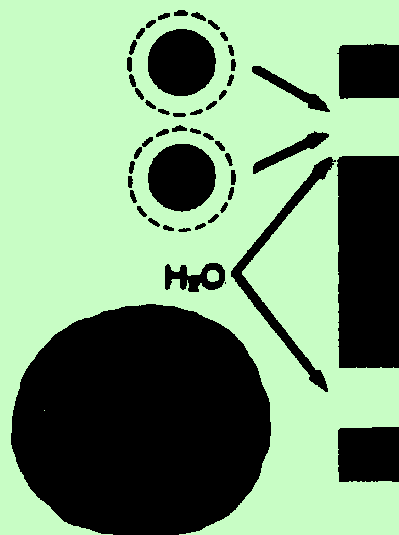
BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

18

Membránműveletek jellemzése

Ultraszűrés (UF)

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



Membránműveletek jellemzése

Mikroszűrés

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



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:

$$K = \frac{c_{s1}}{c_{m1}} = \frac{c_{s2}}{c_{m2}}$$



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

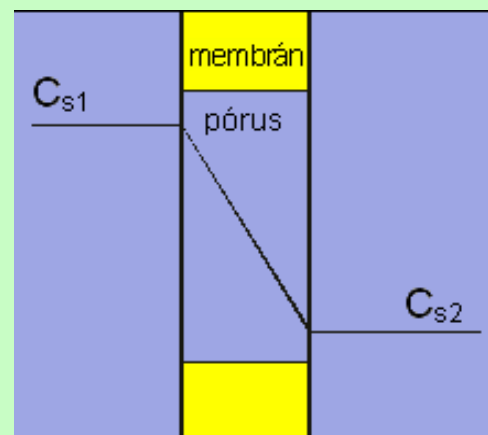
21

Az elméleti koncentrációprofil

A diffundáló oldott anyag árama:

$$J_i = \frac{D}{L}(c_{m1} - c_{m2}) = \frac{DK}{L}(c_{s1} - c_{s2}) = P_m \Delta c_s$$

- D – pórusátmérő
- L – pórus hossza
- K – „megoszlási hányados”
- P_m – 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

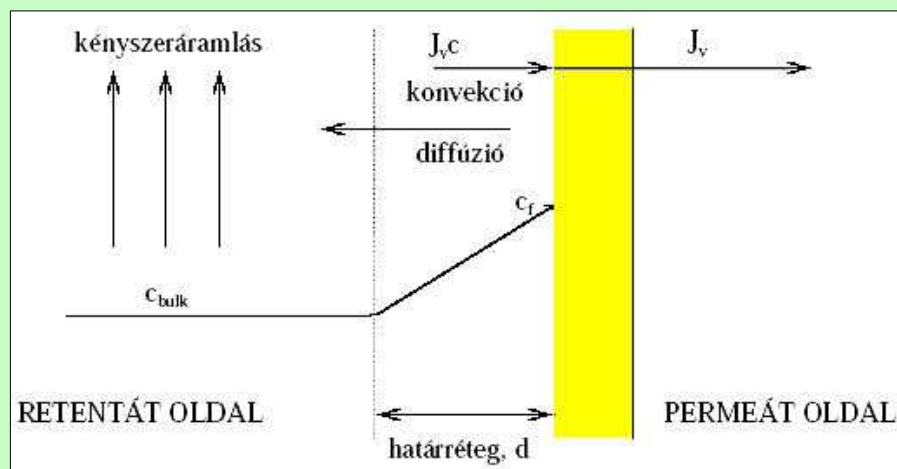


BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

25

Eltérések az elméleti koncentrációprofiltól

Koncentrációs polarizáció



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

26

Eltérések az elméleti koncentrációprofiltól

Állandósult állapotban:

a konvekció a membrán felületére =
= ellenirányú diffúzió a főtömegbe

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

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

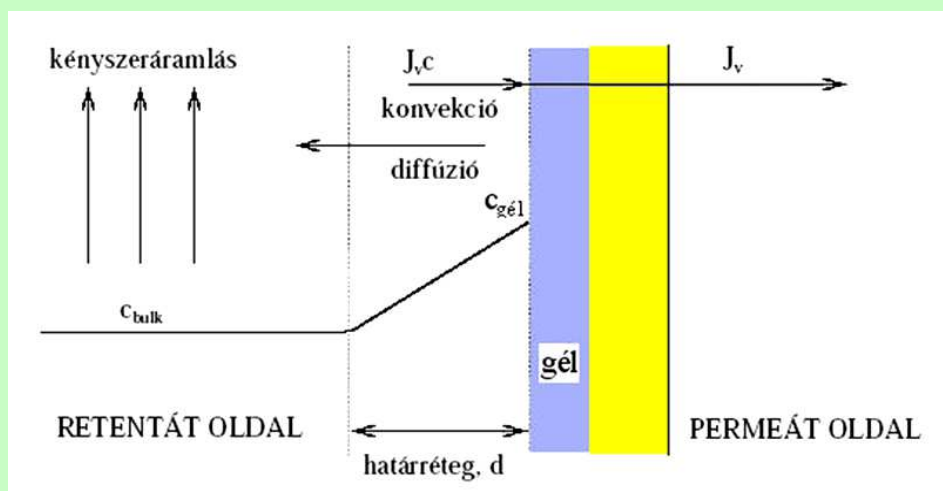


BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

27

Eltérések az elméleti koncentrációprofiltól

Gélpolarizáció



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

28

Eltérések az elméleti koncentrációprofiltól

A határrétegben:

$$J_v = K \ln \frac{C_{\text{gélésedési}}}{C_{\text{bulk}}}$$

Ellenállásokkal felírva:

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



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

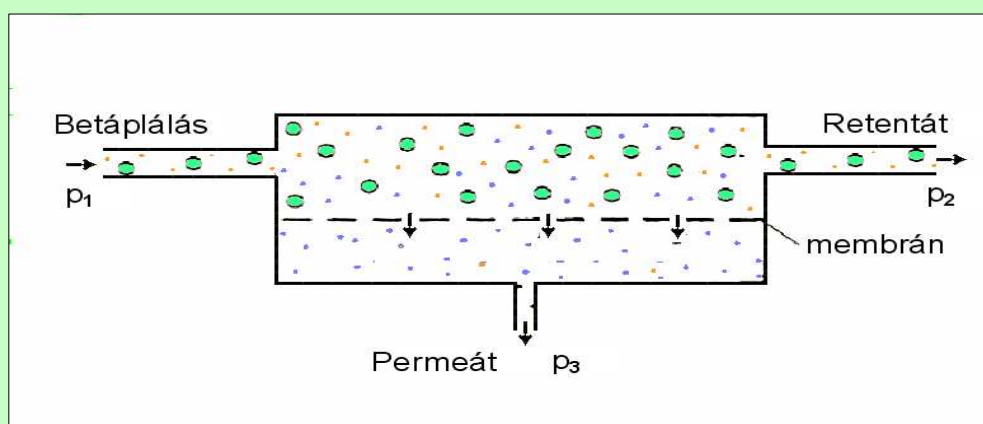
29

A technológiai paraméterek hatása

Nyomáskülönbség

hajtóerő:

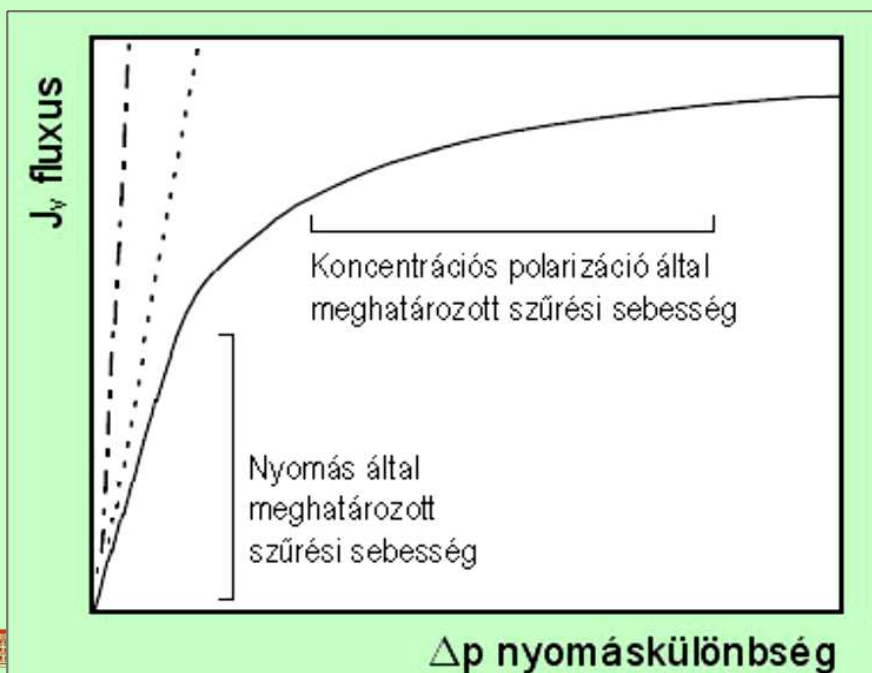
$$\Delta p = \frac{p_1 + p_2}{2} - p_3$$



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

30

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 szűrési sebességet és a retenciót de nő a szivattyúzás energiaigénye → és a rendszer melegevé.

A turbulencia jellemezhető:

Re szám

P/V

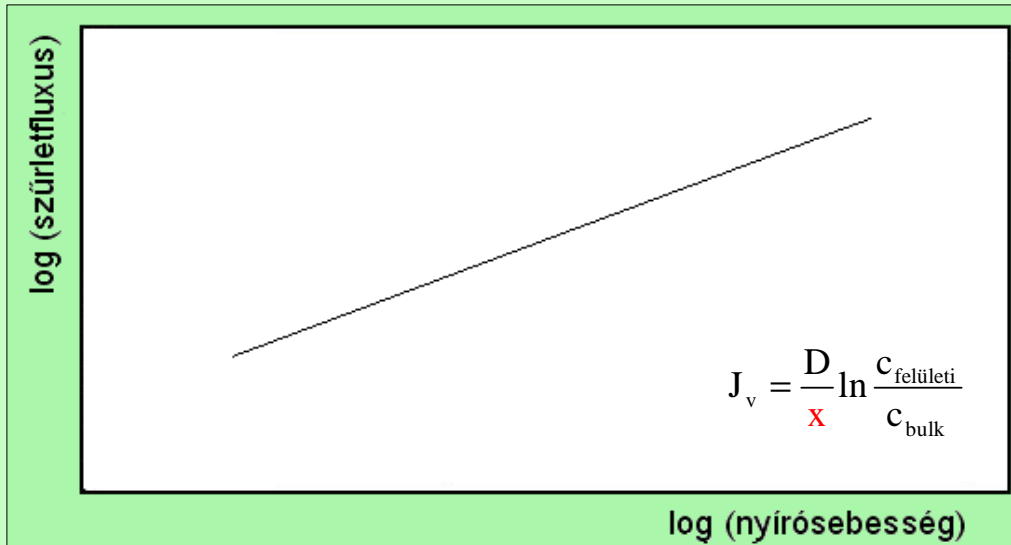
nyírósebesség



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

32

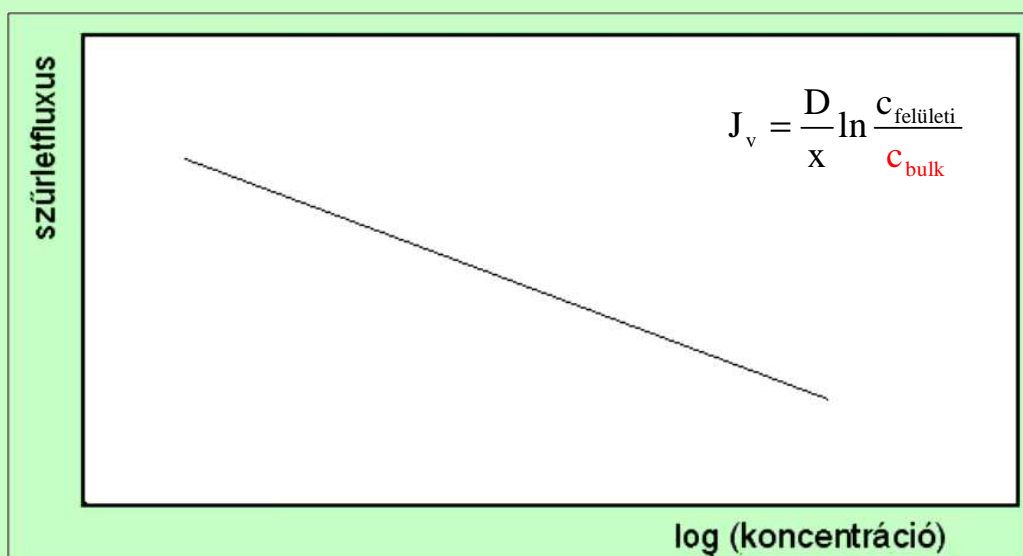
A permeát fluxus és a nyírósebesség összefüggése



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

33

A fehérjekoncentráció hatása a membránszűrés sebességére



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

34

A technológiai paraméterek hatása

A membrán (ifjú)kora

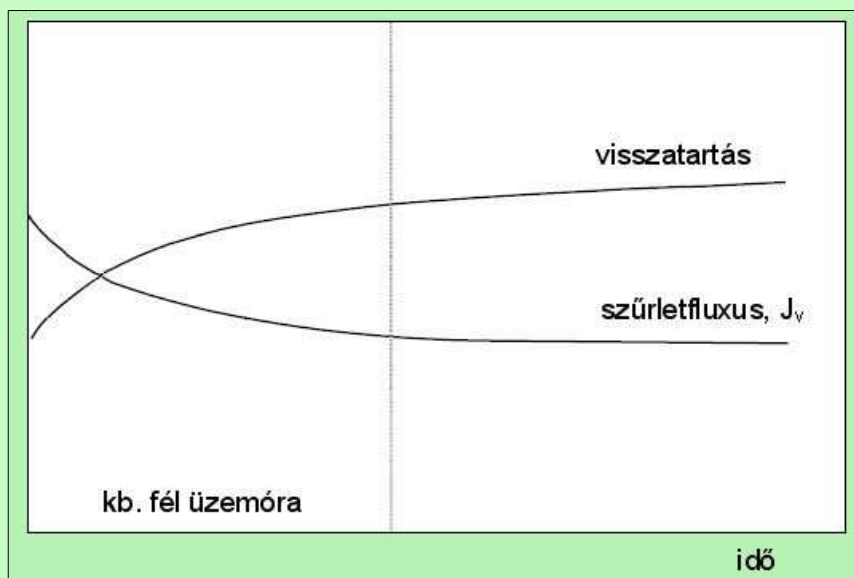
A vadonatúj membrán tulajdonságai a legelső használatba vételnél erősen megváltoznak.

A membrán öregedésére ható legfontosabb tényezők:

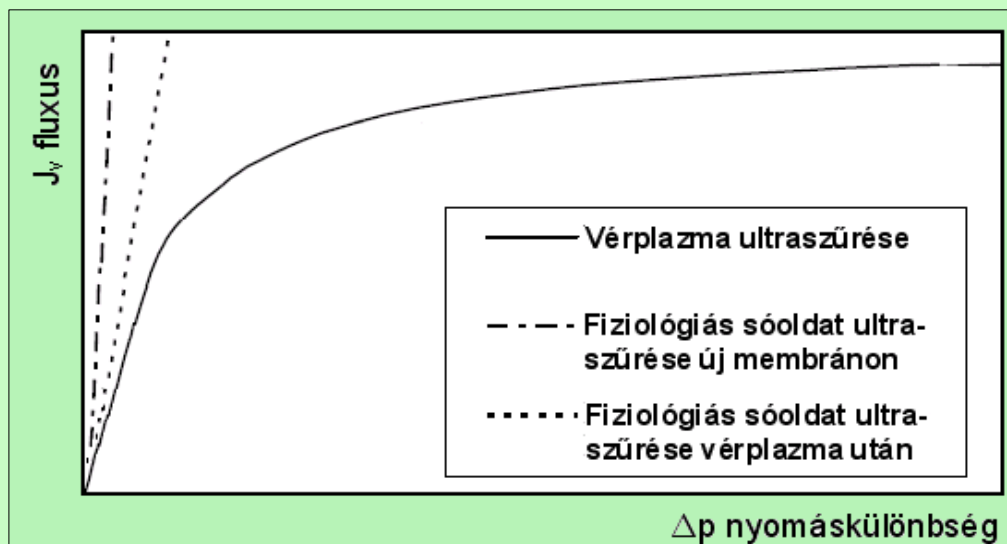
- a fehérjék adszorpciója a membrán felületén
- (irreverzibilis) gél vagy réteggépződés a felületen
- szilárd részecskék (sejttörmelékek), vagy fehérjék "beszorulása" a membrán pórusaiba



Az új membrán tulajdonságainak változása



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

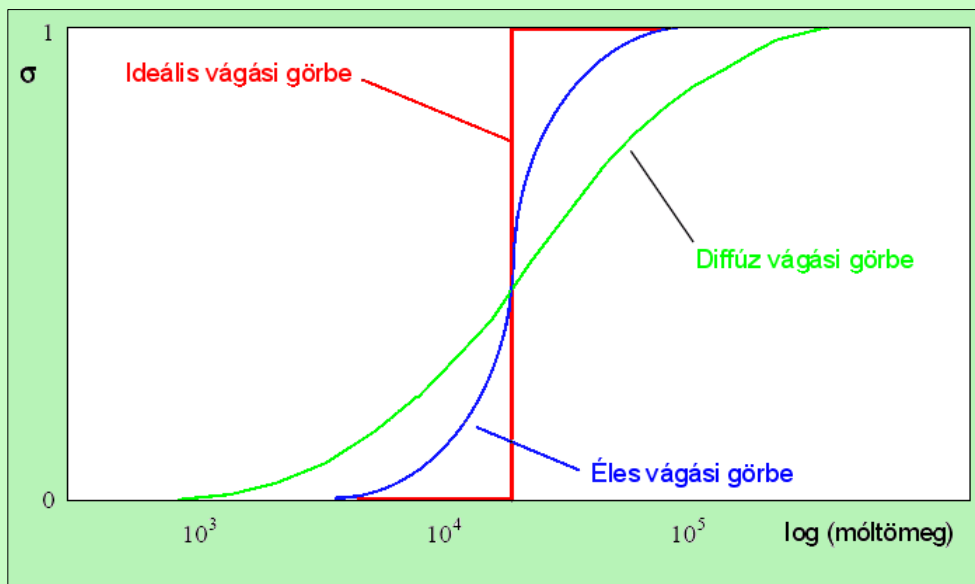
– membrán szelektivitása:

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

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



Vágási görbék



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

41

A membránszűrés anyagmérlegei

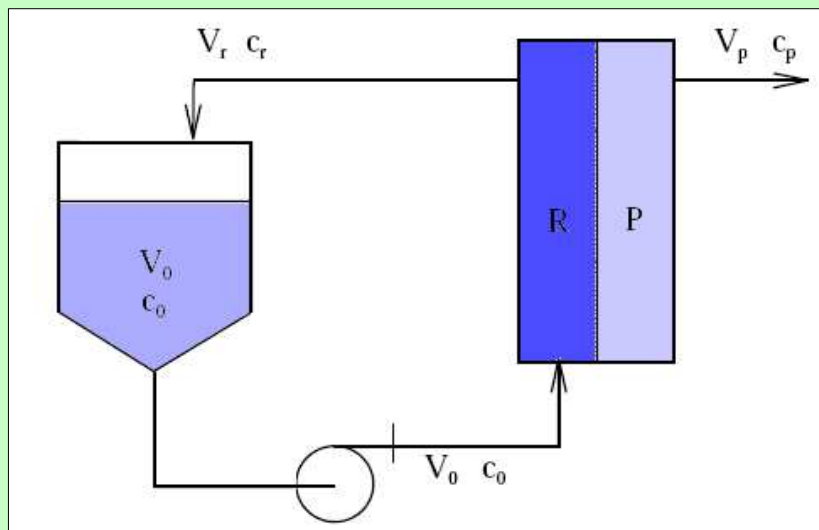
- permeabilitás (L_p) vagy vízérték: a tiszta oldószer (ionmentes víz) fluxusa a membránon üzemi nyomáson és hőmérsékleten. $[m^3/m^2 \times h]$ vagy $[m^3/m^2 \times h \times bar]$
- folyadékáramok:
 - betáplálás (feladás, input) ($V_0 ; c_0$)
 - membránon áthaladó anyag: szűrlet = permeátum ($V_p ;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



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

42

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 megsűrűt, 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

Koncentráls membránnal

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:

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

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

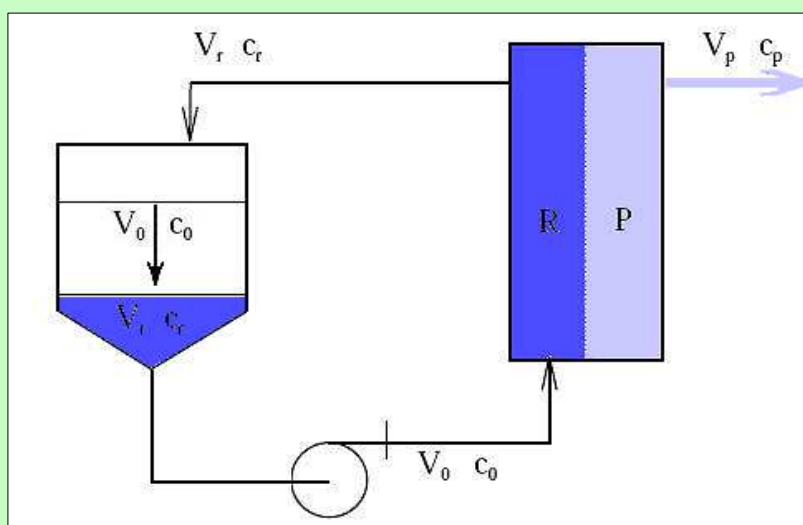
$$c_r = \frac{V_0 c_0 - V_p c_p}{V_r}$$



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

45

Membrános koncentráls folyamatábrája



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

46

A membránszűrés anyagmérlegei

A koncentrációs differenciális anyagmérlege:

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

ahol:

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

integrálva:

$$\ln \frac{c_R}{c_0} = \sigma \ln CF$$



$$c_R = c_0 CF^\sigma$$



A membránszűrés anyagmérlegei

Elválasztás membránszűréssel

A különböző visszatartást az eltérő σ értékek számszerűsítik. Azonos σ értékek esetén az elválasztás nem valósítható meg.

Elválasztás vizsgálatához:

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

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



A membránszűrés anyagmérlegei

Diaszűrés

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

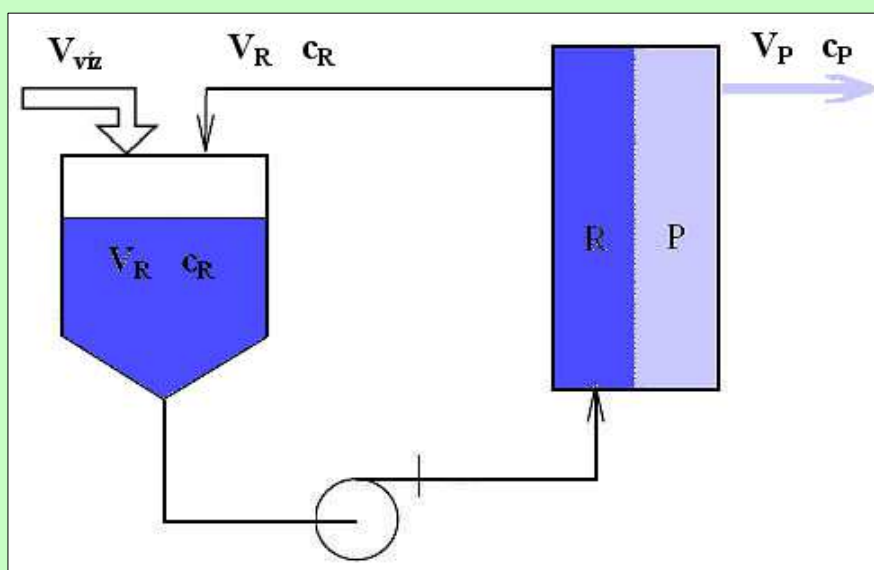
Állandó retentát térfogat:

$$V_0 = V_R$$

$$V_P = V_{\text{víz}}$$



A diaszűrés folyamatábrája



A diaszűrés anyagmérlegei

Anyagmérleg:

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

mivel $V_R = V_0 = \text{állandó}$:

$$V_0 \frac{dc_R}{dt} = 0 - W c_R (1 - \sigma)$$

integrálva:

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



$$c_R = c_0 e^{\left[- (1 - \sigma) \frac{V_{\text{víz}}}{V_0} \right]}$$



A membránszűrés anyagmérlegei

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

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

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

$$c_R = c_0 e^{\left[- \frac{V_{\text{víz}}}{V_0} \right]}$$

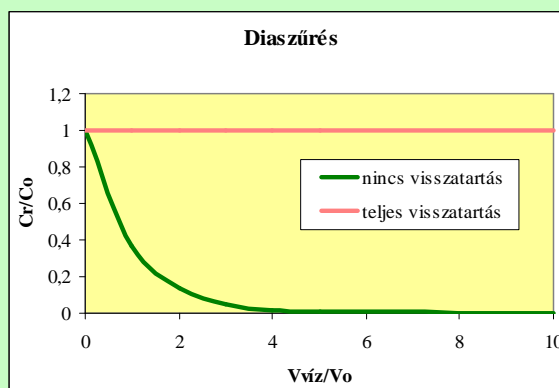


a koncentráció exponenciálisan csökken.



Diaszűrés

$\left[\frac{V_{\text{víz}}}{V_0} \right]$	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:

$$\begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \end{pmatrix}_R = \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \end{pmatrix}_0 \exp \left[-\frac{V_{\text{víz}}}{V_0} (\sigma_2 - \sigma_1) \right]$$



A membránszűrés anyagmérlegei

Az ultraszűrés munkavonala

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

konstansokkal felírva:

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

$$c_R = c_0 CF^\sigma$$

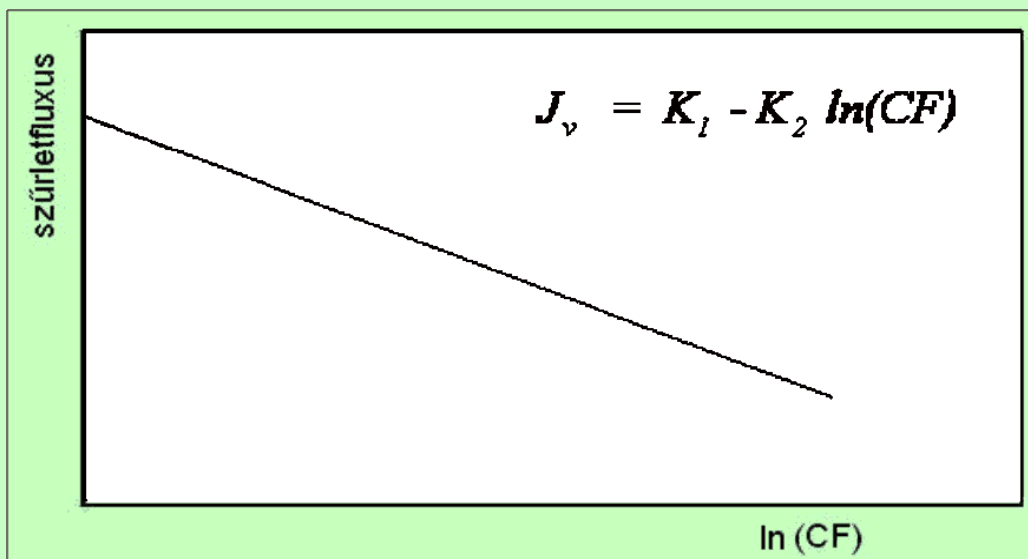
$$J_v = K_1 - K_2 \ln CF$$



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

55

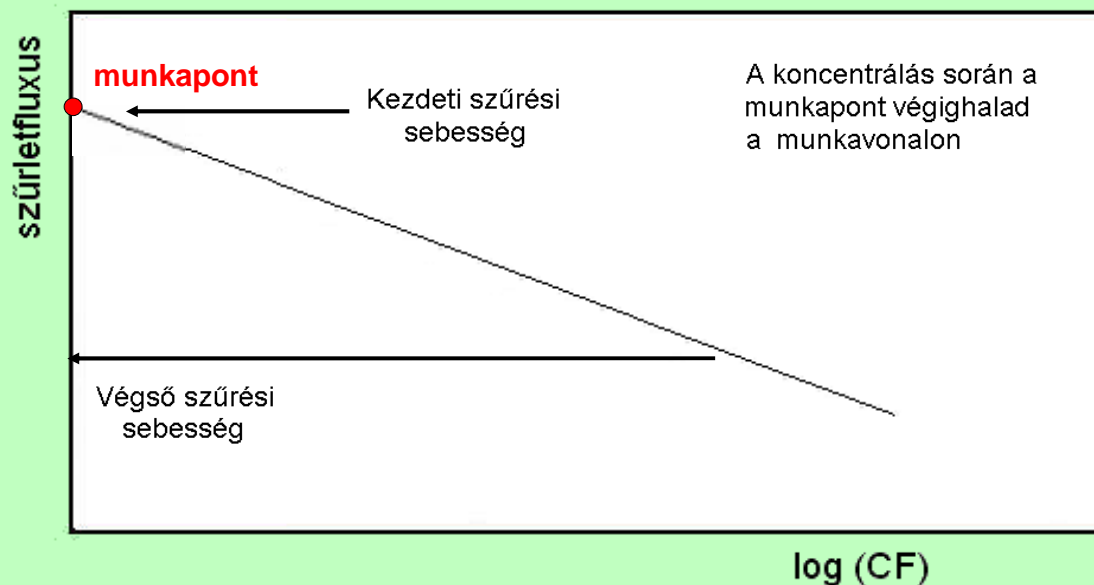
Az ultraszűrés munkavonala



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

56

A membránszűrés munkavonala



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

A membránszűrés anyagmérlegei

Térfogatáram:

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

Átlagos fluxus:

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

Szűrési idő:

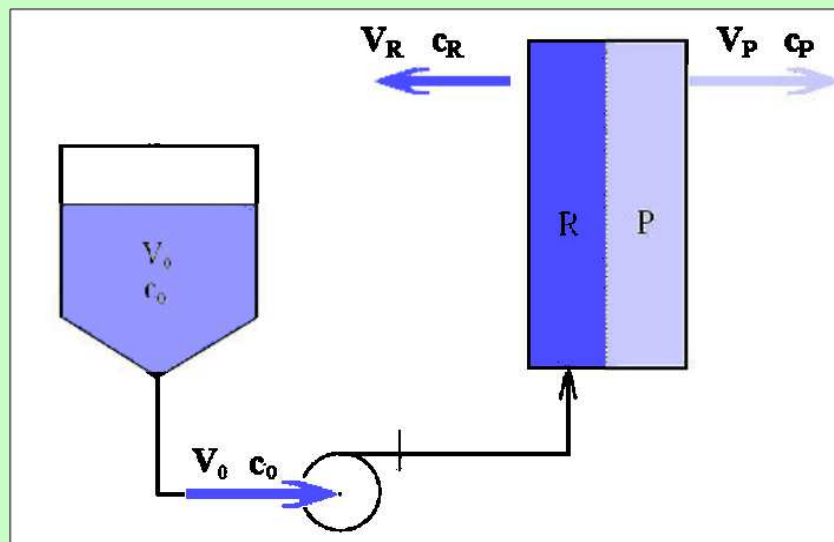
$$t = \frac{1}{AL_p \Delta p} \left(V_0 - V + \frac{RTn}{\Delta p} \cdot \ln \left(\frac{V_0 - RTn/\Delta p}{V - RT/\Delta p} \right) \right)$$



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

58

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 \longrightarrow állandósult állapot \longrightarrow

a paraméterek az idővel alig változnak \longrightarrow csak a membrán "öre-
gedése,, miatt

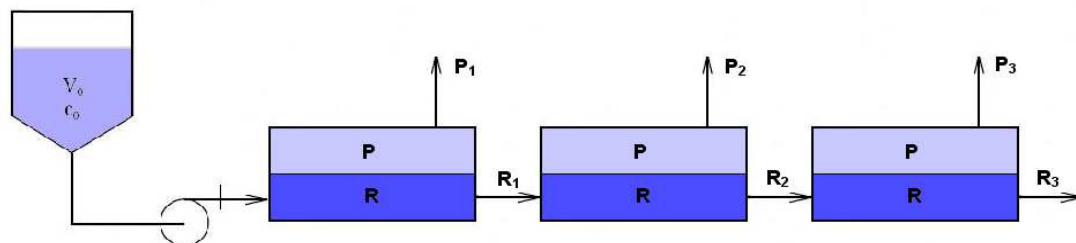
Állandó retentát oldali koncentráció \longrightarrow állandó fluxus \longrightarrow

a munkapont nem vándorol \longrightarrow a berendezés állandóan a
legnagyobb fluxus értéken működik



A többlépcsős folyamatos membránszűrés folyamatábrája

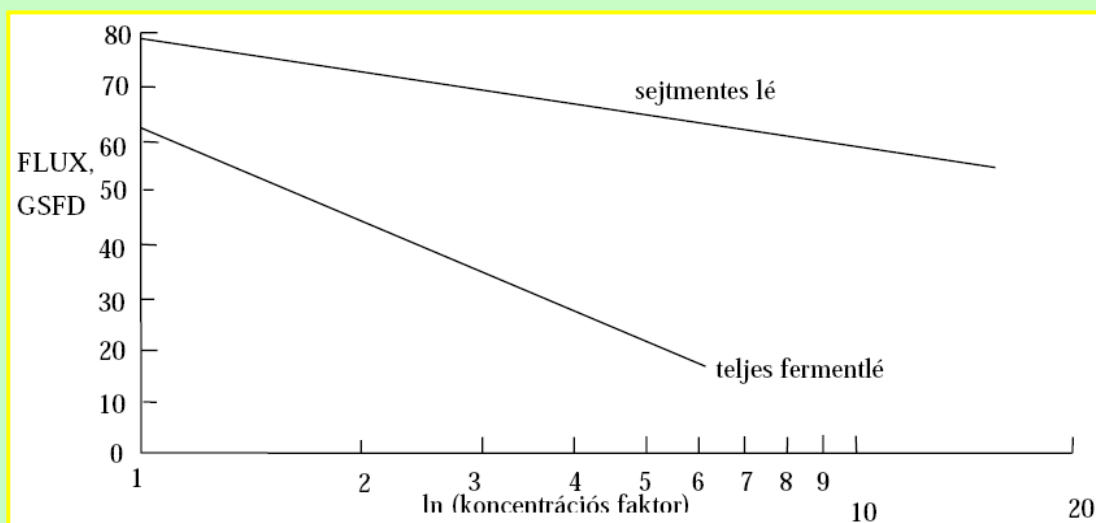
$$CF_1 = \sqrt[3]{CF_{összes}}$$



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

61

Teljes és szűrt fermentlé membránszűrésének összehasonlítása



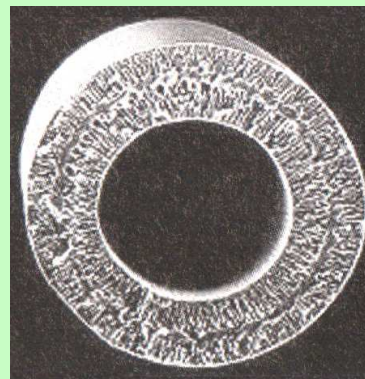
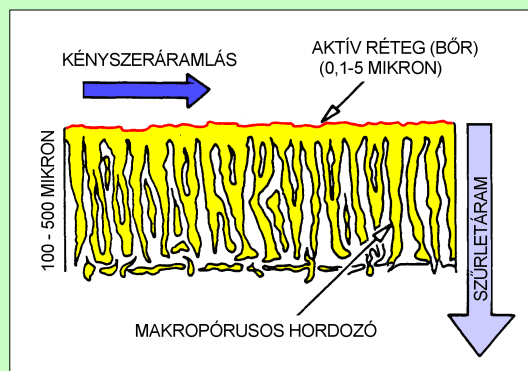
BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

62

A membránok jellemzői

Membránok csoportosítása

Szerkezet szerint: izotróp vagy anizotróp



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

63

A membránok jellemzői

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

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

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



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

64

A membránok jellemzői

Membránok előállítása

Alapanyagok:

- regenerált cellulóz
- polimerek (teflon, poliszulfon, poliakrilnitril, PVC, poliészter, polietilén, polipropilén)
- kerámia
- fémek

Tendencia: egyre ellenállóbb, magasabb 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 tágítják pórusokká)



Membránmodulok

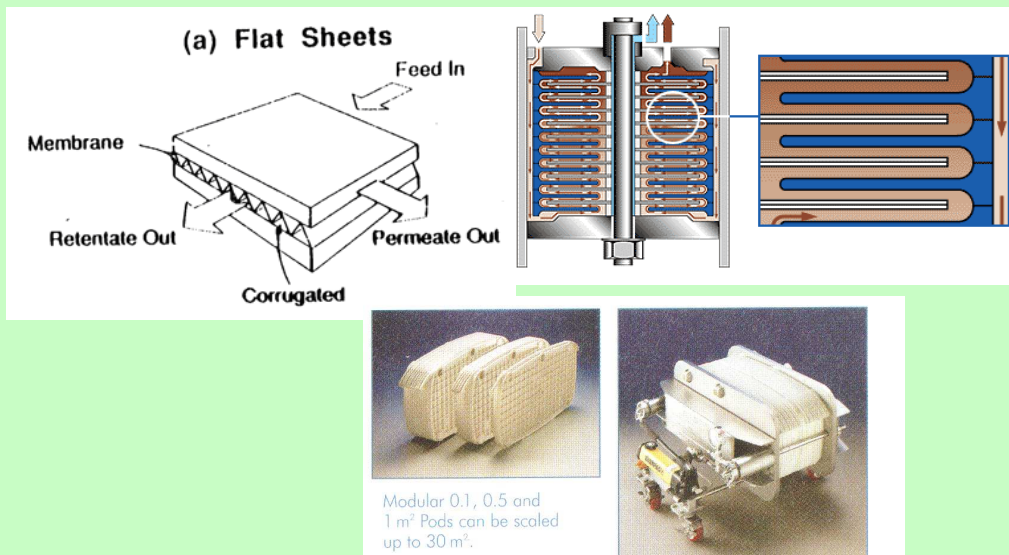
Hordozóval, távtartókkal, csatlakozókkal, burkolattal ellátott cserélhető egységek az ún. membránmodulok.

Főbb kialakítási típusaik:

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



Lapmembrán modulok



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

69

Lapmembrán modulok

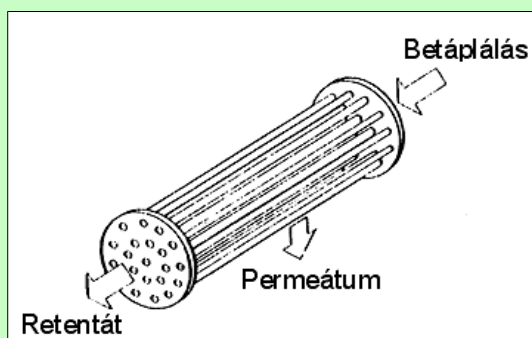


BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

70

Csőmembrán modulok

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

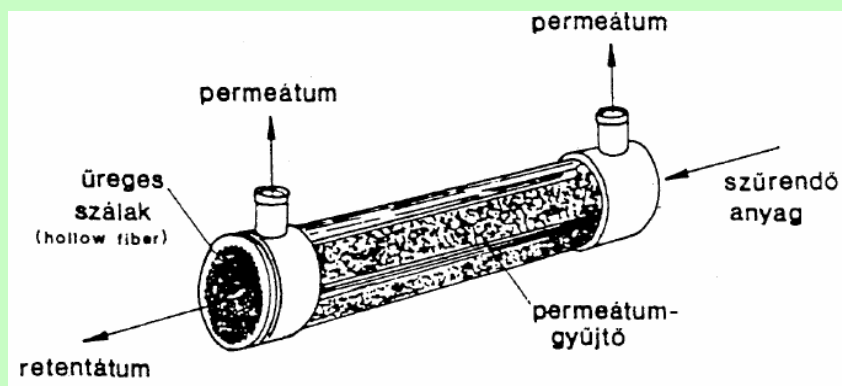


BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

71

Membránmodulok

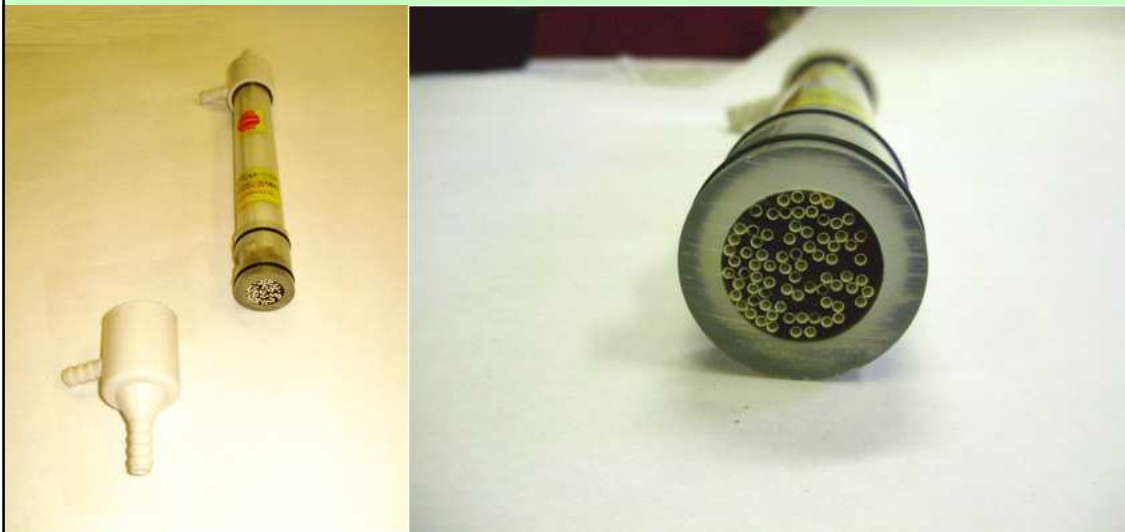
- **üregesszál (hollow fiber) membránok** (belméret 0,5-1,5 mm, üzemi nyomás korlátozott, több száz szál egy modulban)



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

72

Membránmodulok



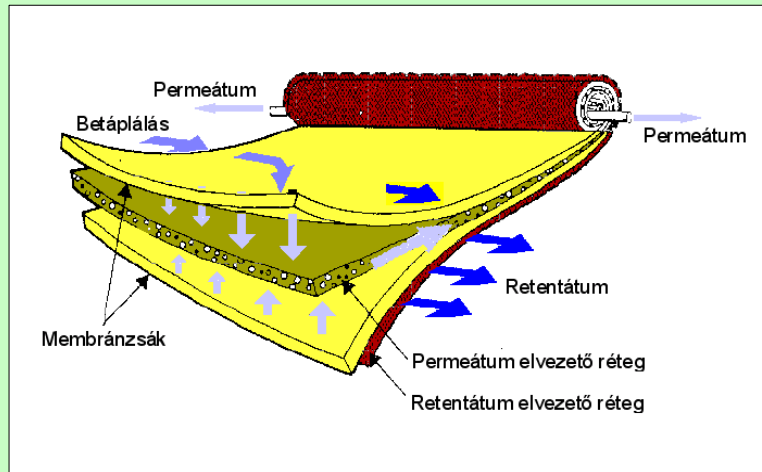
Membránmodulok

- **mikrokapilláris membránok** (belméret 5-20 μm , több millió kapilláris egy modulban, nagy nyomásesés, kis áramlási sebesség)



Membránmodulok

spirális membránmodulok: feltekerített zsákszerű membránokból áll. Távtartó hálók. Nem javítható.



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

75

Ipari membránszűrő telep



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

76

Szervetlen (kerámia, fém) modulok

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

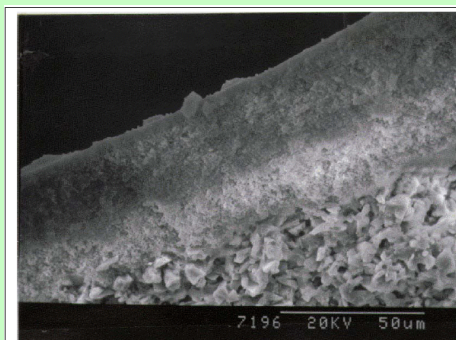
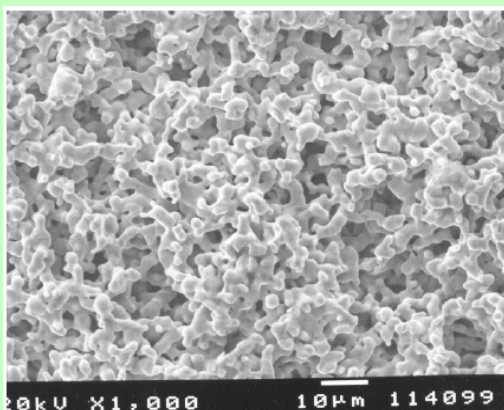


Figure 7. Scanning Electron Micrograph of Multilayer Ceramic Membrane



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

77

Szinterelt membránok

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

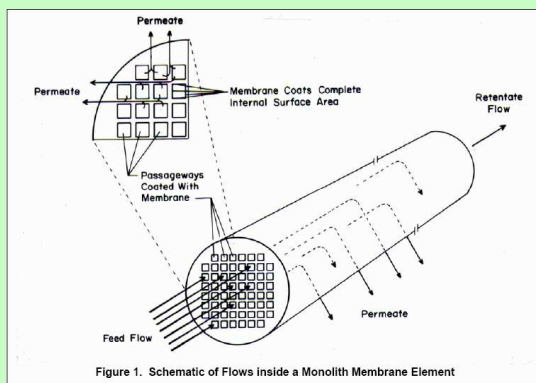
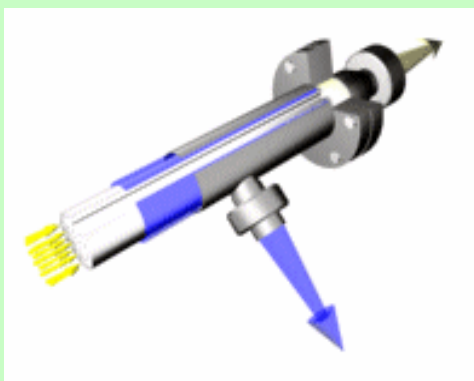


Figure 1. Schematic of Flows Inside a Monolith Membrane Element



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

78

Szinterelt membránok

Szinterelt kerámia hasáb, amelyben párhuzamosan csőszerű járatok futnak.



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

79

Üzemközi membránvizsgálat. Buborékpont meghatározása

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

Vízérték: fehérjék adszorpciója irreverzibilis változásokat okoz
→ vizsgálat: köbözés



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

80

Üzemközi membránvizsgálat. Buborékpont meghatározása

Integritásvizsgálat: buborékpont meghatározás

elsősorban hidrofil, mikropórusos membránoknál használható

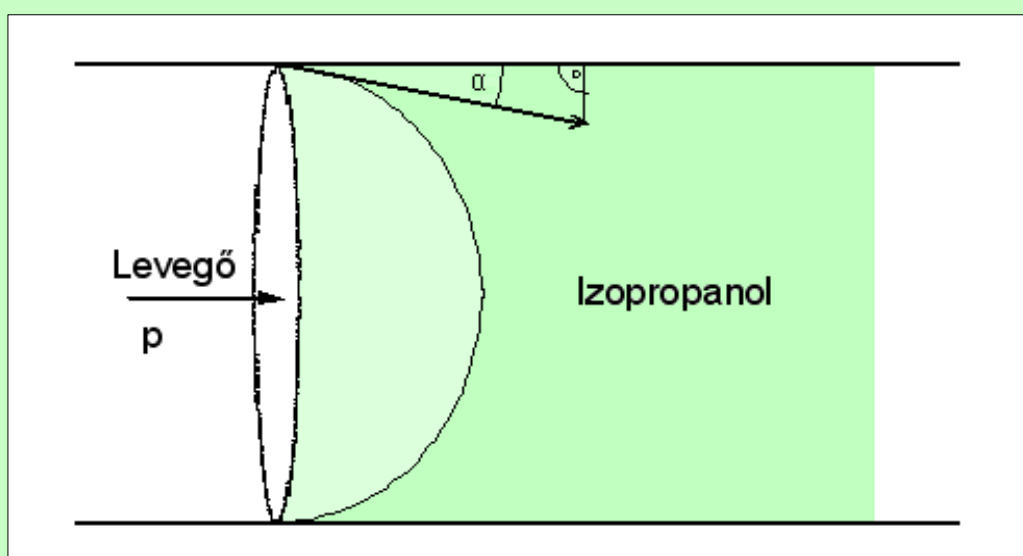
alapelv: ha egy kapillárisból gáznyomással szorítjuk ki a folyadékot, a nyomás és a kapilláris átmérője fordítottan arányos egymással.



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

81

A gáz-folyadék határfelület kapillárisban



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

82

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.



A buborékpont meghatározás térfogatáram- görbéje

