

# MEMBRÁN MŰVELETEK

Dr. Pécs Miklós



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,  
Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

1

# 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

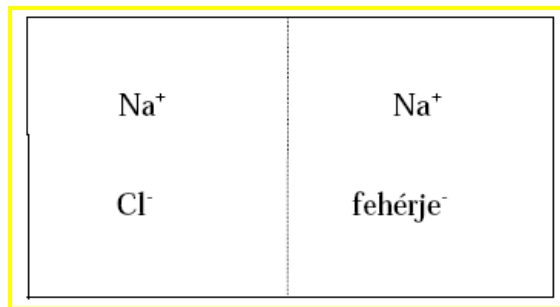
## Bevezetés

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

A transzportok hajtóerejének megértéséhez végezzünk el egy gondolat-kísérletet:

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

Mi történik?

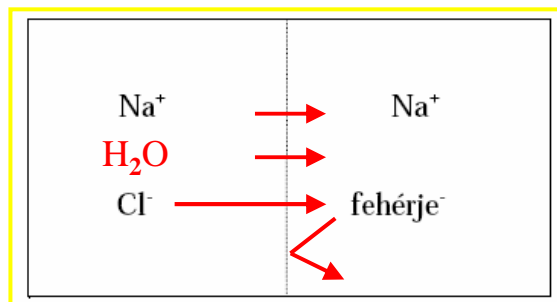


BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

3

A klorid ionok a koncentrációkülönbség 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

4

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!



## 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



## 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



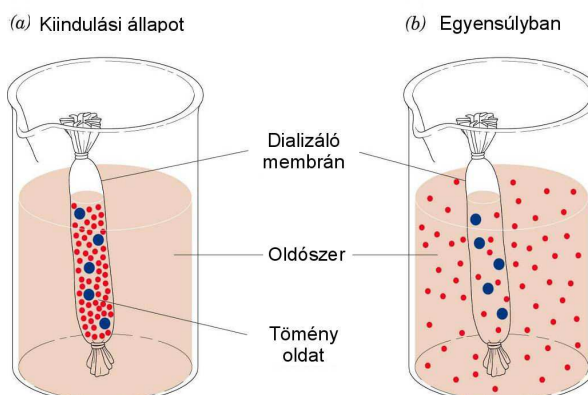
BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

7

## Membránműveletek jellemzése

### Dialízis

- fehérjék 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

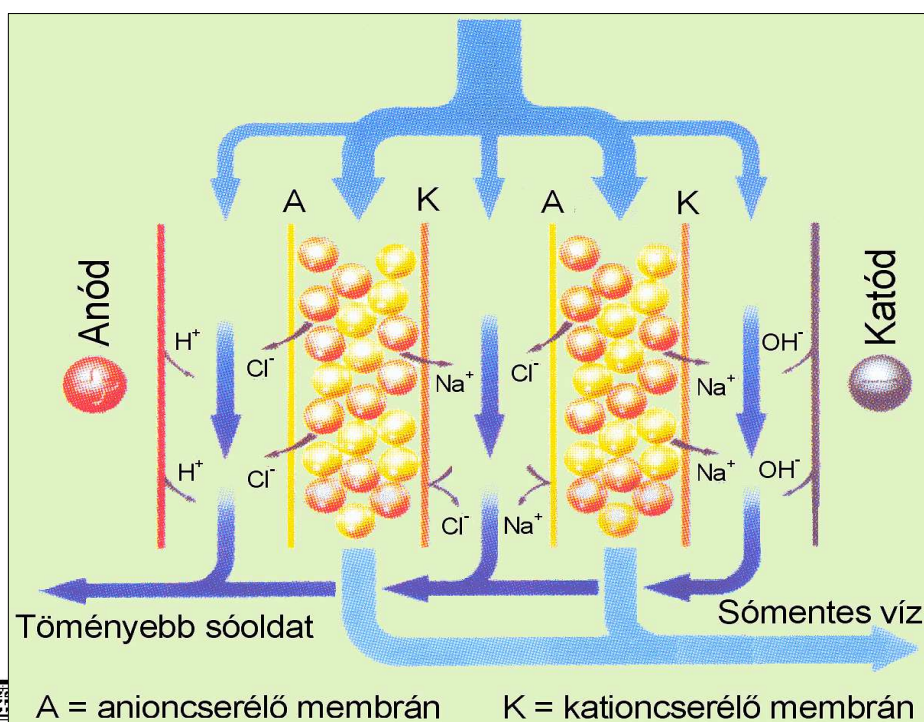
- hajtóerő: elektromos tér – egyenfeszültség
- mechanizmus: diffúzió
- szelektivitás: az anion- és kationcserélő membránok csak a kötődő ionokat engedik át.
- elektromos ellenállás: 3 - 20  $\Omega/\text{cm}^2$  (0.5 M NaCl oldattal egyensúlyban)
- iontranszportszám: 0.85 - 0.95
- elektrooszmózis: 100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



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

9

### (Hagyományos) elektrodialízis



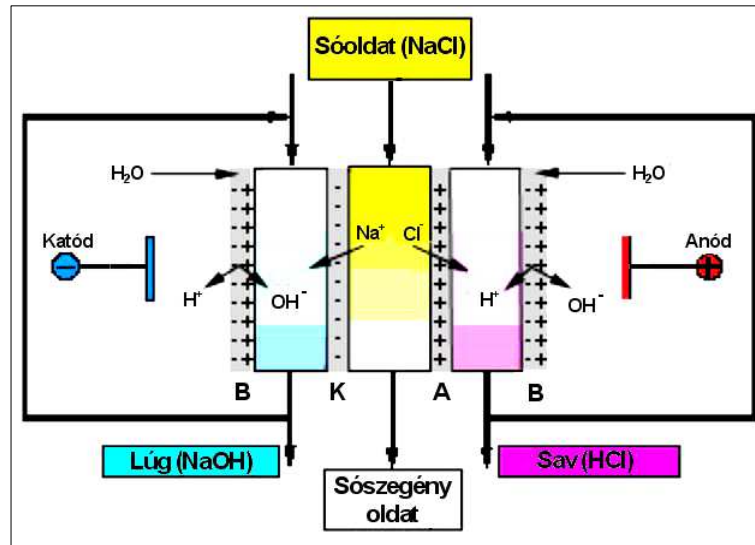
10

## Bipoláris elektrodialízis

Bipoláris membránok: anion- és kationcserélő réteget tartalmaznak.

Áram hatására a víz disszociál →

$H^+$  és  $OH^-$  ionokat ad le.



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

11

## Membránműveletek jellemzése

Az elektrodialízis alkalmazásai:

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

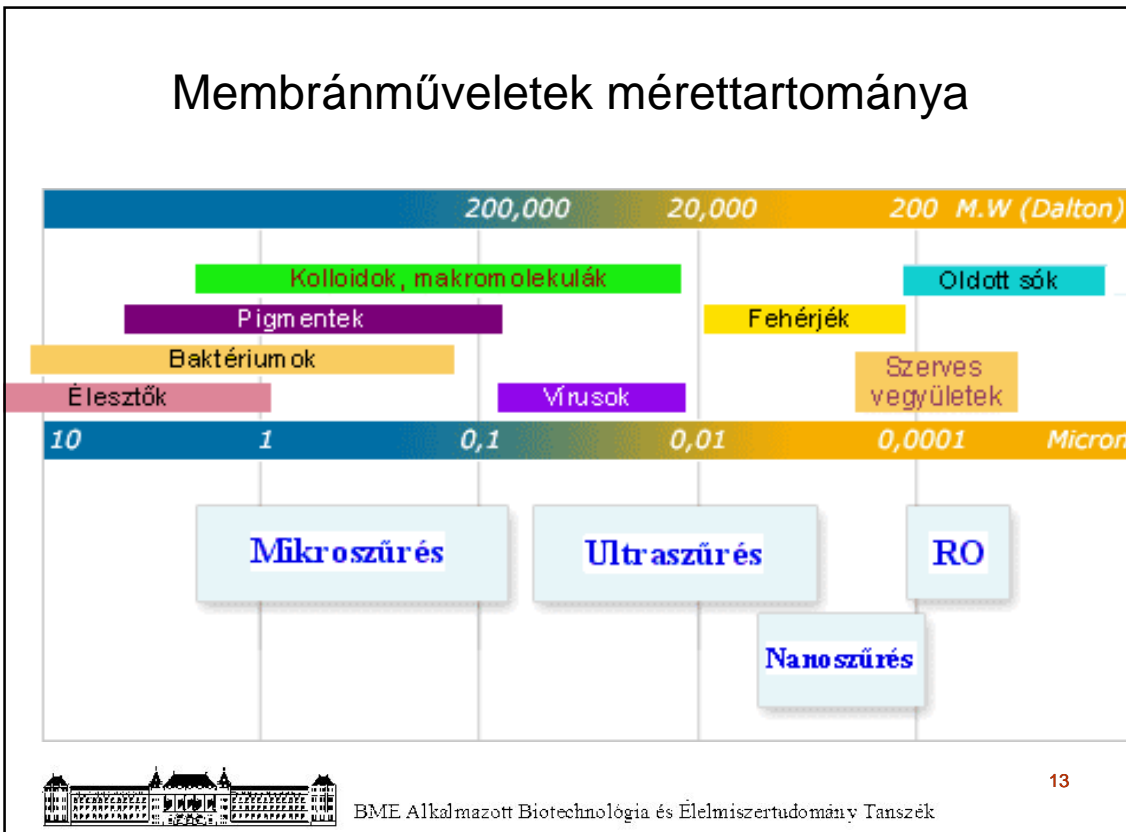
Bipoláris elektrodialízis:

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

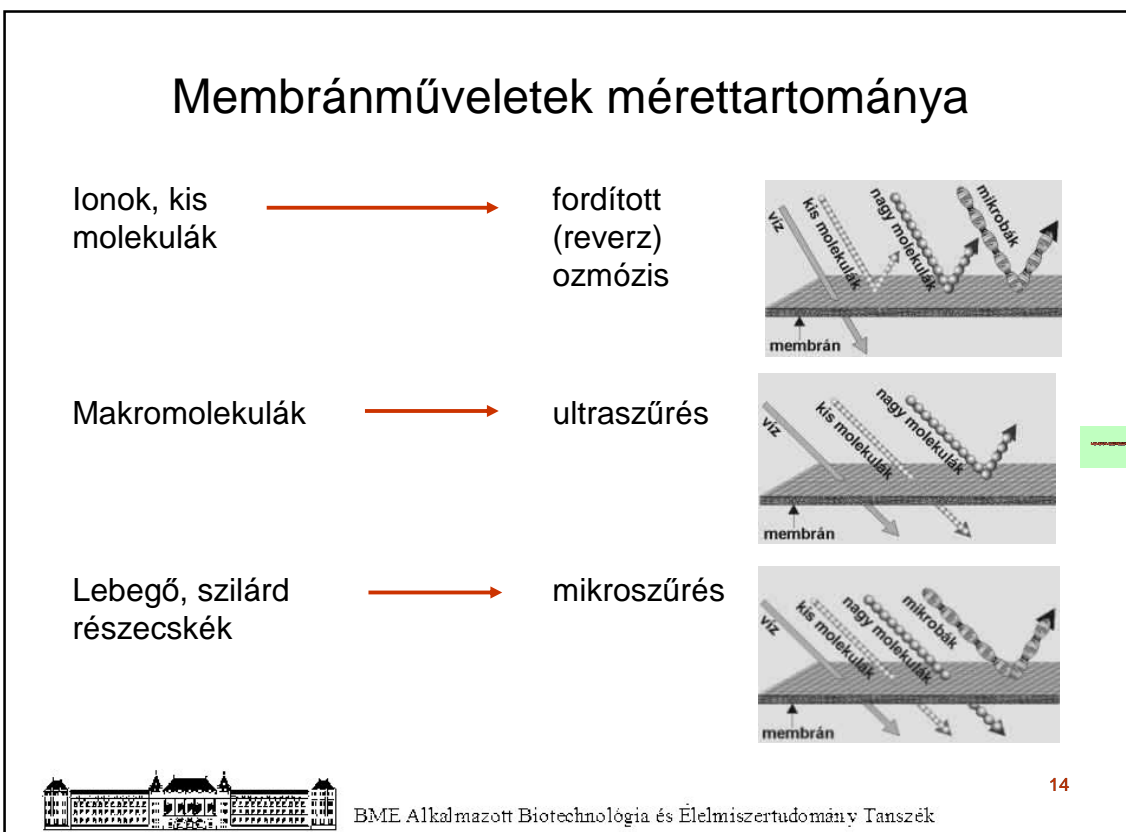


BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

12

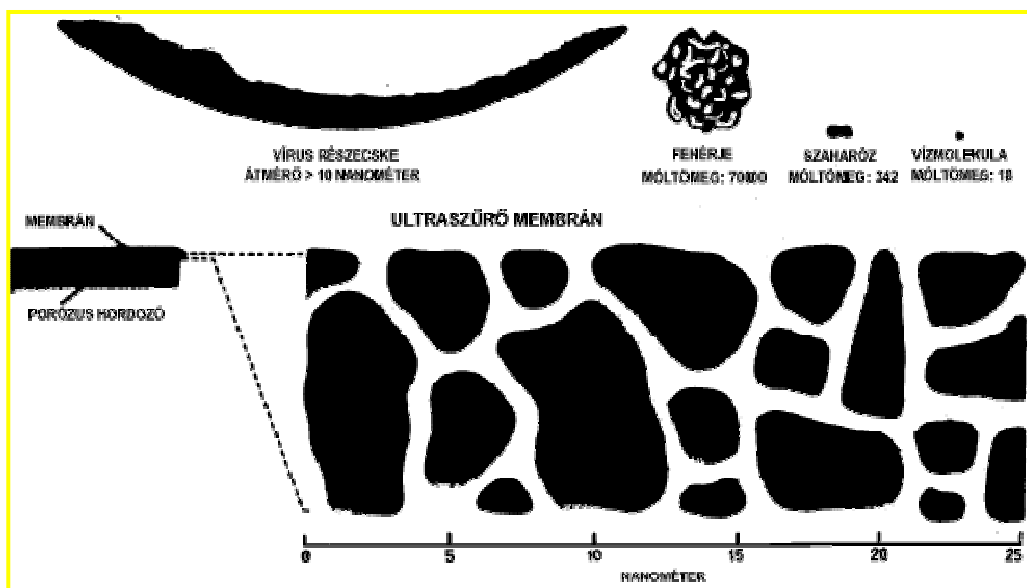


13



14

## Az ultraszűrő membrán keresztmetszete és a különböző részecskék méretviszonyai



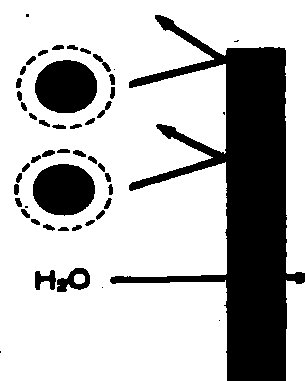
BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

15

## Membránműveletek jellemzése

### Fordított (reverz) ozmózis (RO)

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

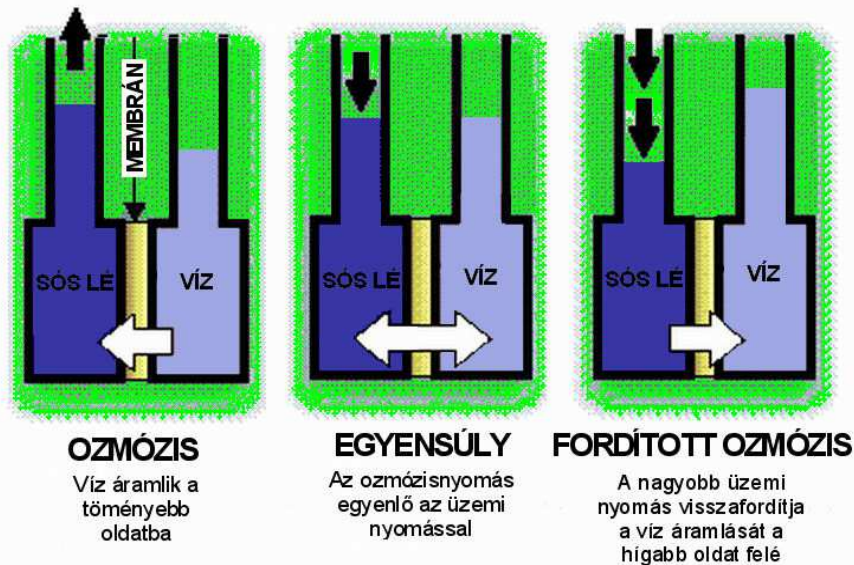


BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

16



## A fordított ozmózis elve



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

17

## Membránműveletek jellemzése

### Nanoszűrés:

Újabbban 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



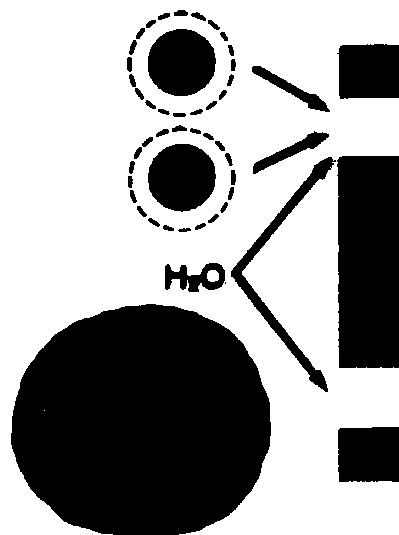
BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

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  $\mu\text{m}$
- 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

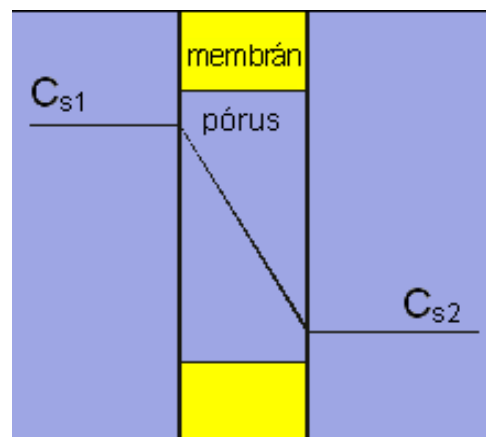
21

## 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

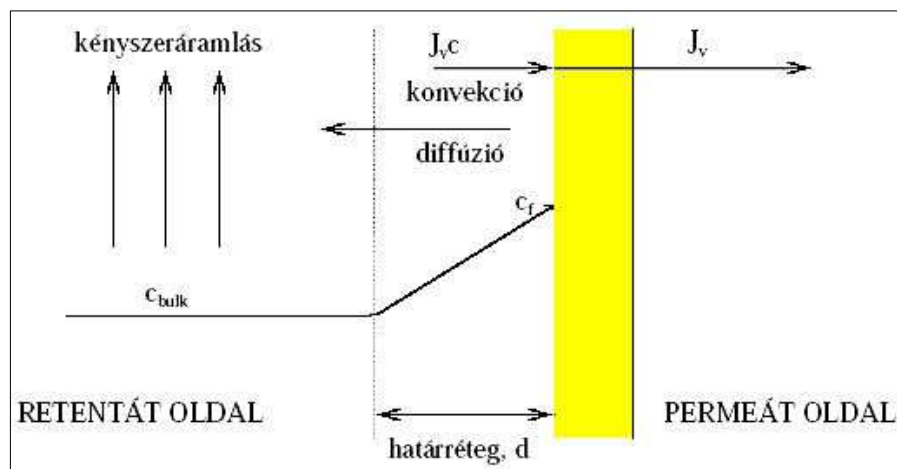


BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

25

## Eltérések az elméleti koncentrációpiltól

### Koncentrációs polarizáció



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

26

## Eltérések az elméleti koncentrációprofiltól

Állandósult állapotban:

a konvekció a membrán felületére =  
= ellenirányú diffúzió a főtömegbe

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

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

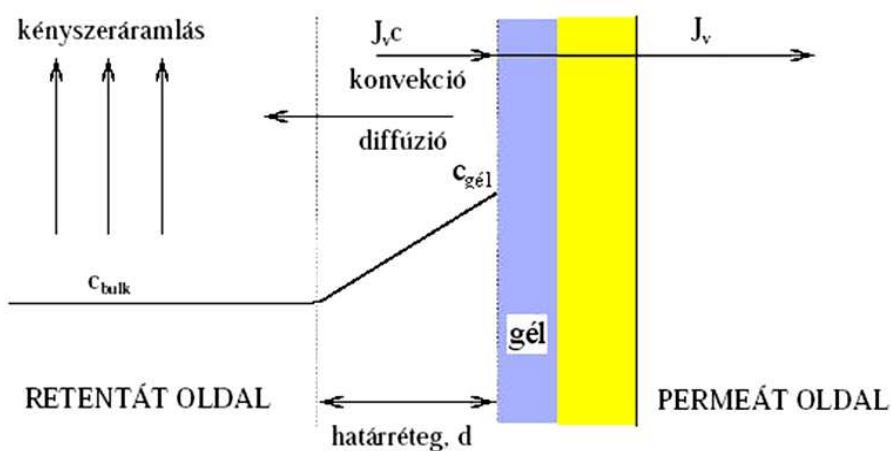


BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

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:

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

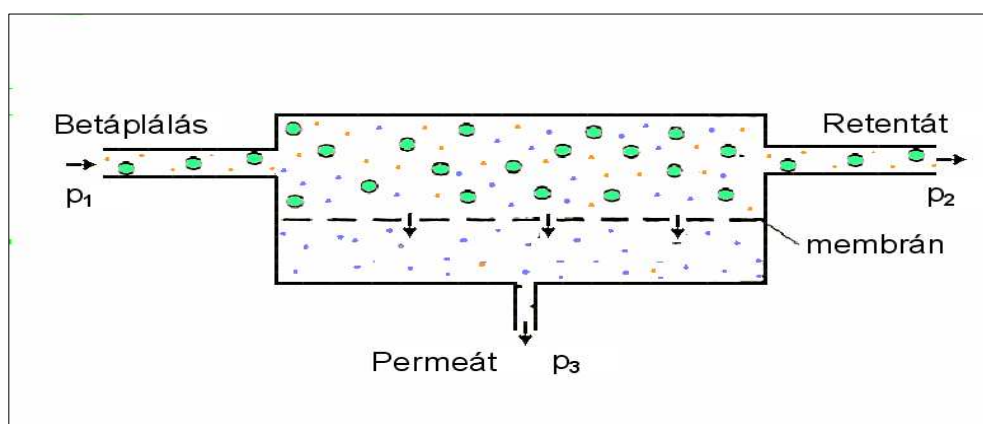


BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

29

## A technológiai paraméterek hatása

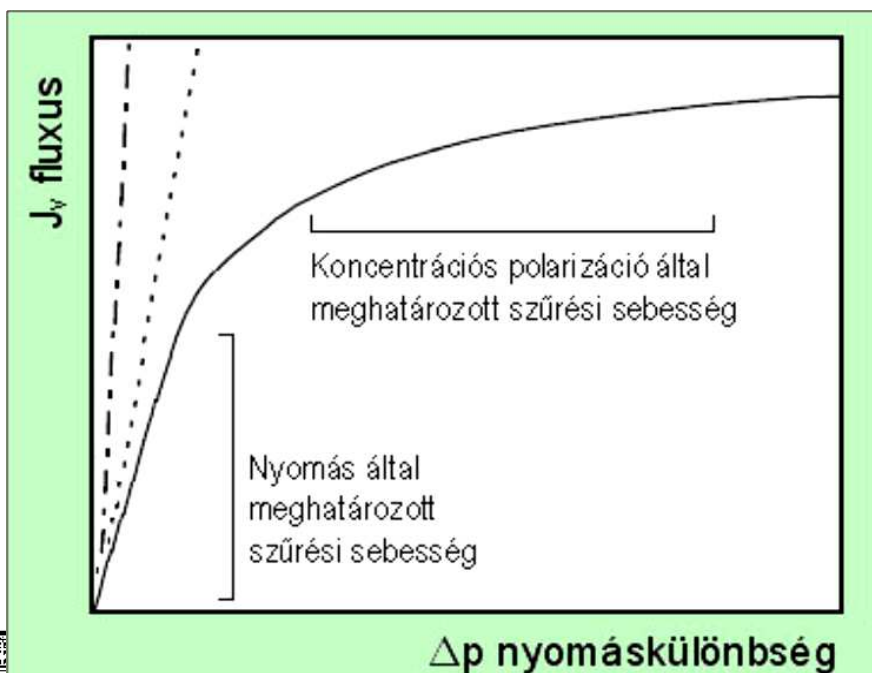
Nyomáskülönbség hajtóerő: 
$$\Delta p = \frac{p_1 + p_2}{2} - p_3$$



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  $\longrightarrow$  és a rendszer melegedése.

A turbulencia jellemezhető:

Re szám

$P/V$

nyírósebesség

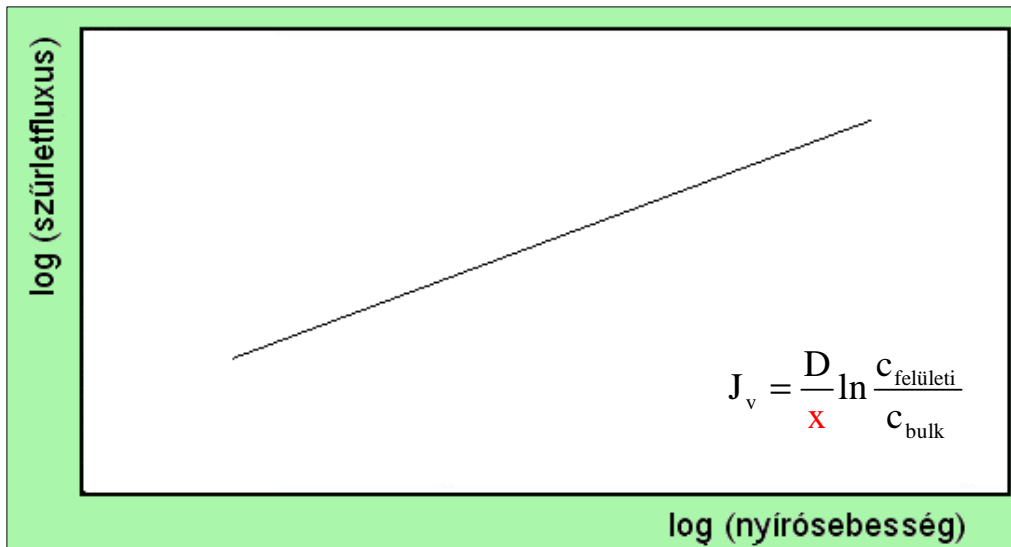


BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

32



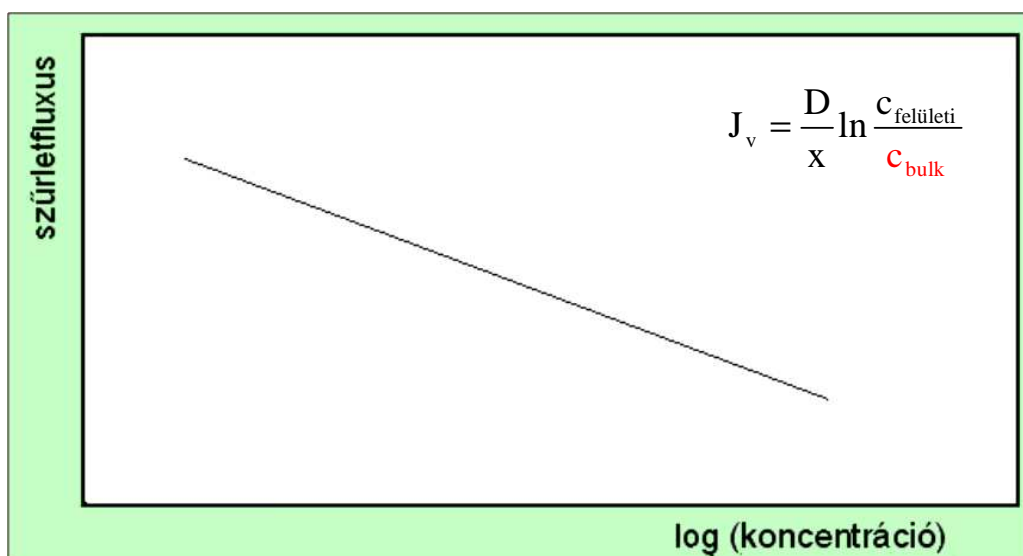
## A permeát fluxus és a nyírósebesség összefüggése



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:

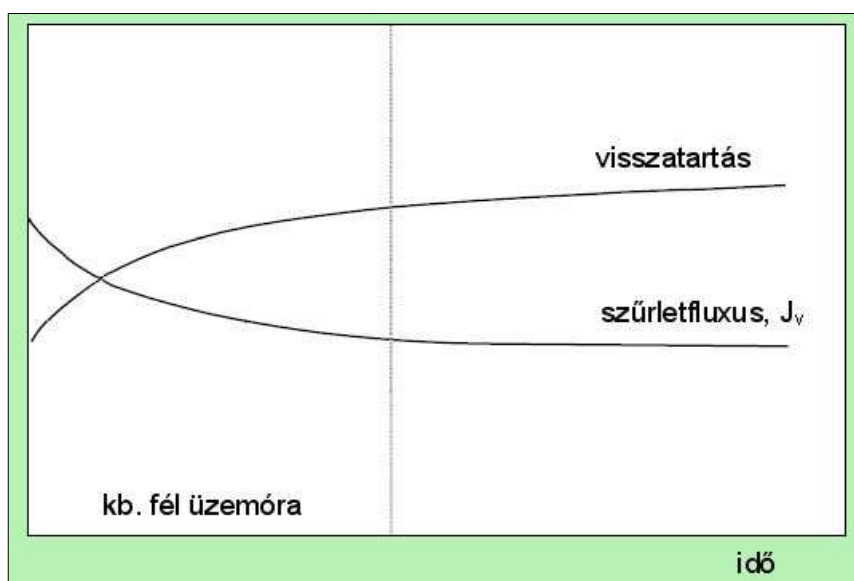
- a fehérjék adszorpciója a membrán felületén
- (irreverzibilis) gél vagy rétegeképződés a felületen
- szilárd részecskék (sejttörmelékek), vagy fehérjék "beszorulása" a membrán pórusaiba



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

35

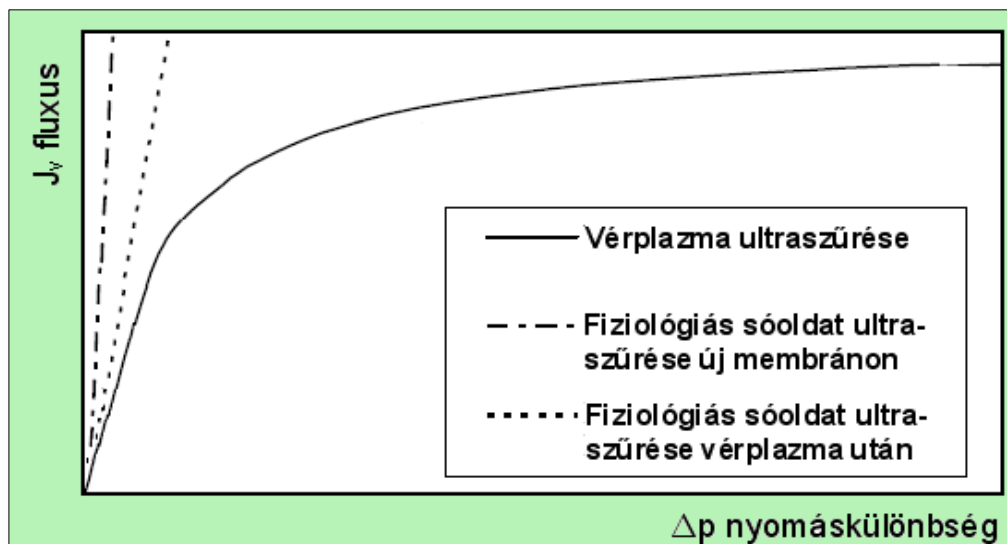
## Az új membrán tulajdonságainak változása



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

36

## A membrán "előéletének" hatása



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

37

## A technológiai paraméterek hatása

### Hőmérséklet

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



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

38

## 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



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

39

## A membránszűrés anyagmérlegei

### Alapfogalmak

– membrán szelektivitása:

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

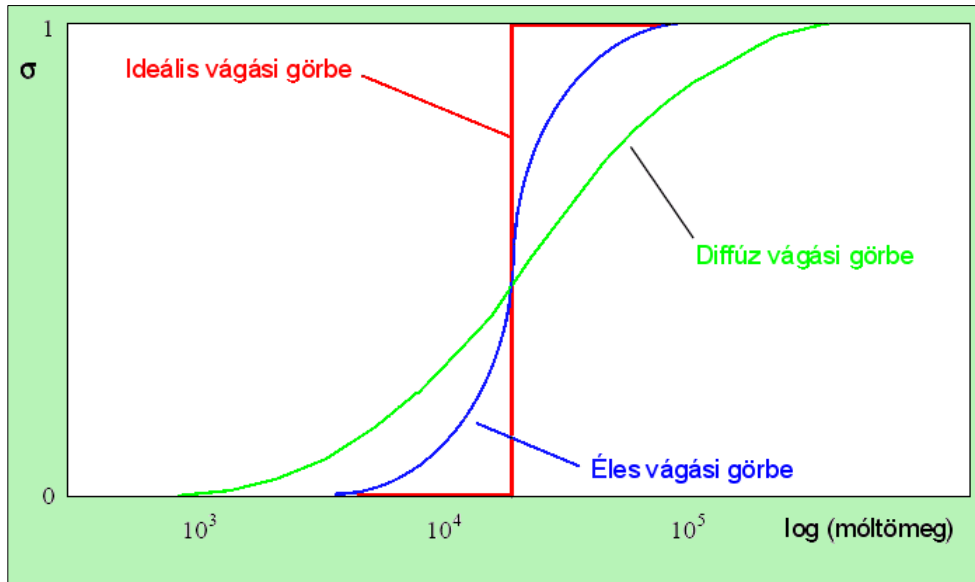
– vágási (cutoff) érték: az a molekulatömeg, amelyet az adott membrán 90 %-ban (más konvenció szerint 50 %-ban) visszatart.



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

40

## Vágási görbék



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

41

## A membránszűrés anyagmérlegei

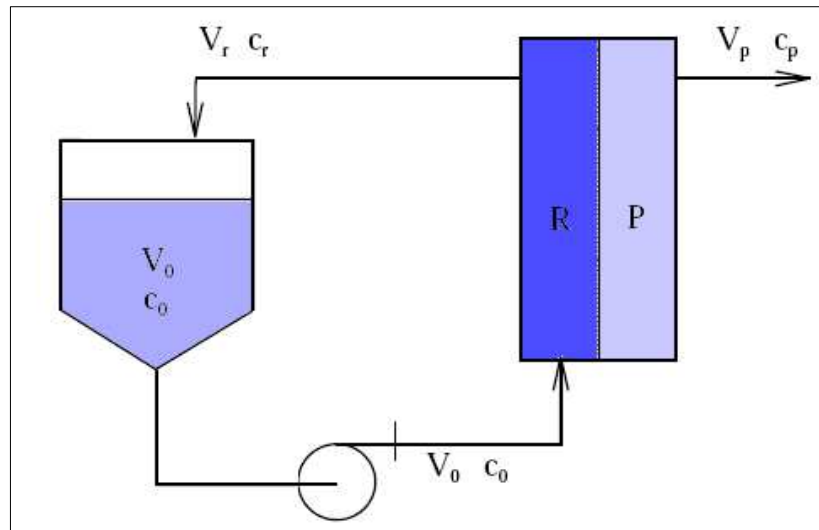
- permeabilitás ( $L_p$ ) vagy vízérték: a tiszta oldószer (ionmentes víz) fluxusa a membránon üzemi nyomáson és hőmérsékleten. [ $m^3/m^2 \times h$ ] vagy [ $m^3/m^2 \times h \times bar$ ]
- folyadékáramok:
  - betáplálás (feladás, input) ( $V_0 ; c_0$ )
  - membránon áthaladó anyag: szűrlet = permeátum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



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

42

## Membránszűrő berendezés folyamatábrája



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

43

## 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:

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



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

44

## A membránszűrés anyagmérlegei

### Koncentráció 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:

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

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

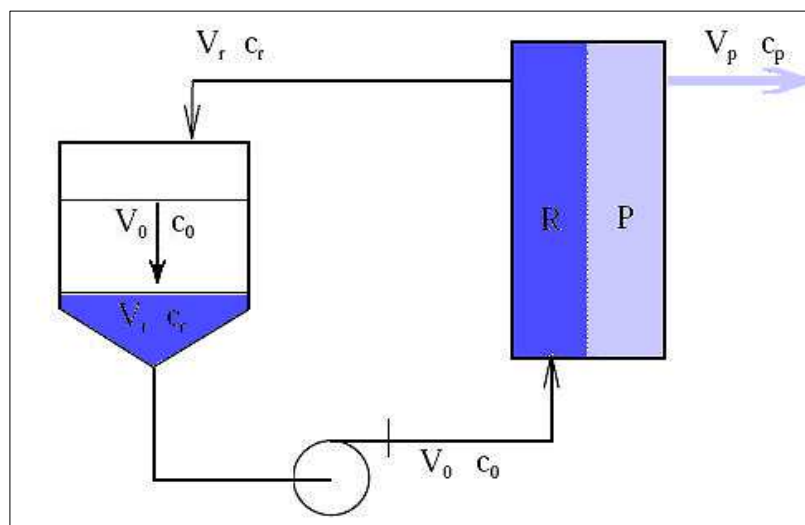
$$c_r = \frac{V_0 c_0 - V_p c_p}{V_r}$$



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

45

## Membrános koncentráció folyamatábrája



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

46

## A membránszűrés anyagmérlegei

A koncentrációs differenciális anyagmérlege:

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

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:

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

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





## A membránszűrés anyagmérlegei

### Diaszűrés

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

Állandó retentát térfogat:

$$V_0 = V_R$$

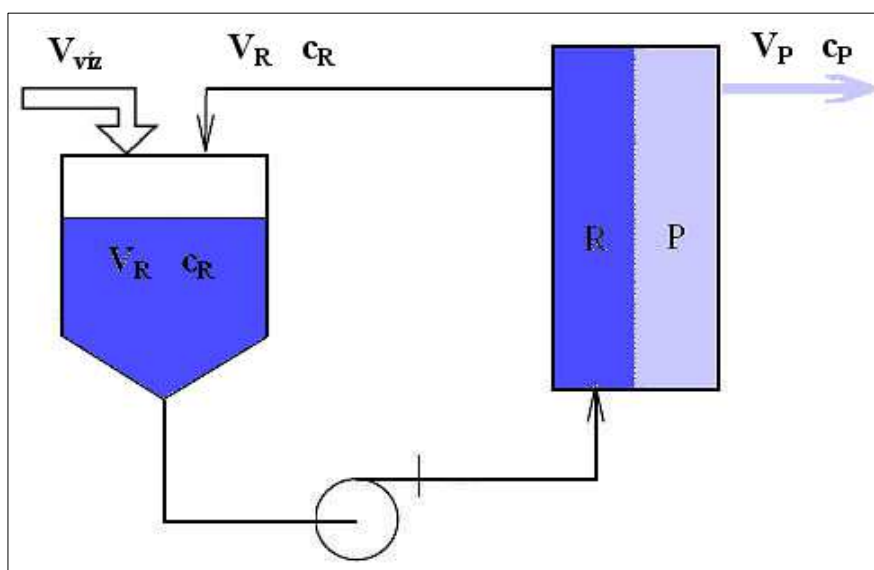
$$V_P = V_{\text{víz}}$$



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

49

## A diaszűrés folyamatábrája



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

50

## 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:

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



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

51

## A membránszűrés anyagmérlegei

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

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

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

$$c_R = c_0 e^{\left[ - \frac{V_{\text{víz}}}{V_0} \right]} \longrightarrow \text{a koncentráció exponenciálisan csökken.}$$

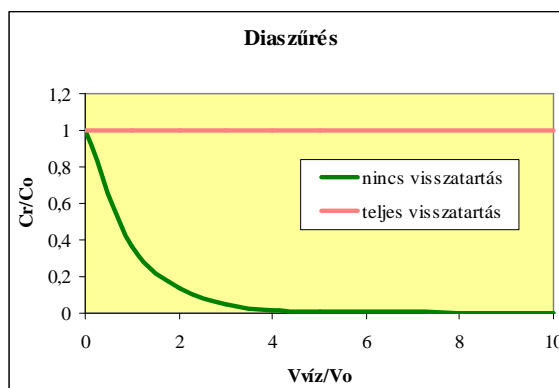


BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

52

## Diaszűrés

$\frac{V_{\text{víz}}}{V_0}$	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:

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

$$c_R = c_0 CF^\sigma$$

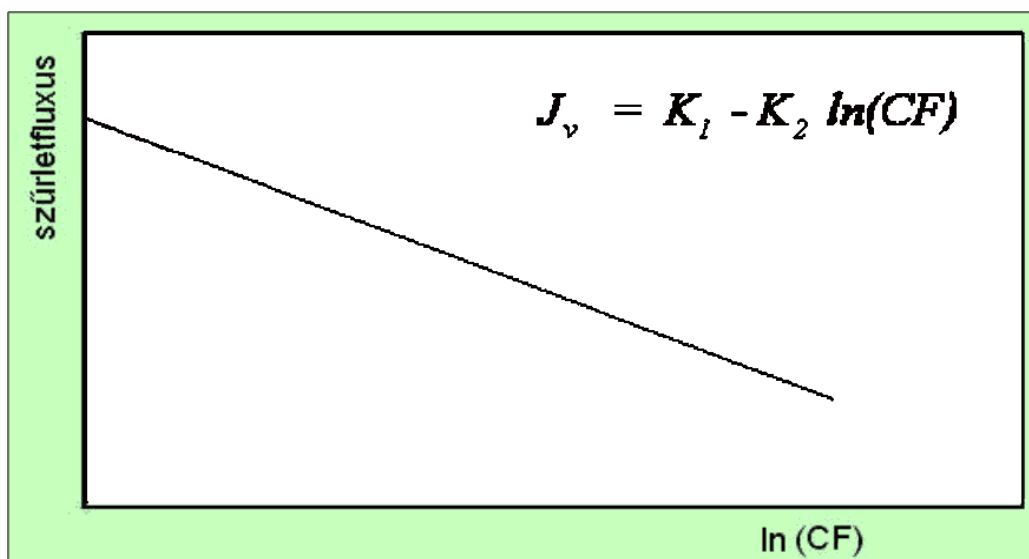
$$J_v = K_1 - K_2 \ln CF$$



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

55

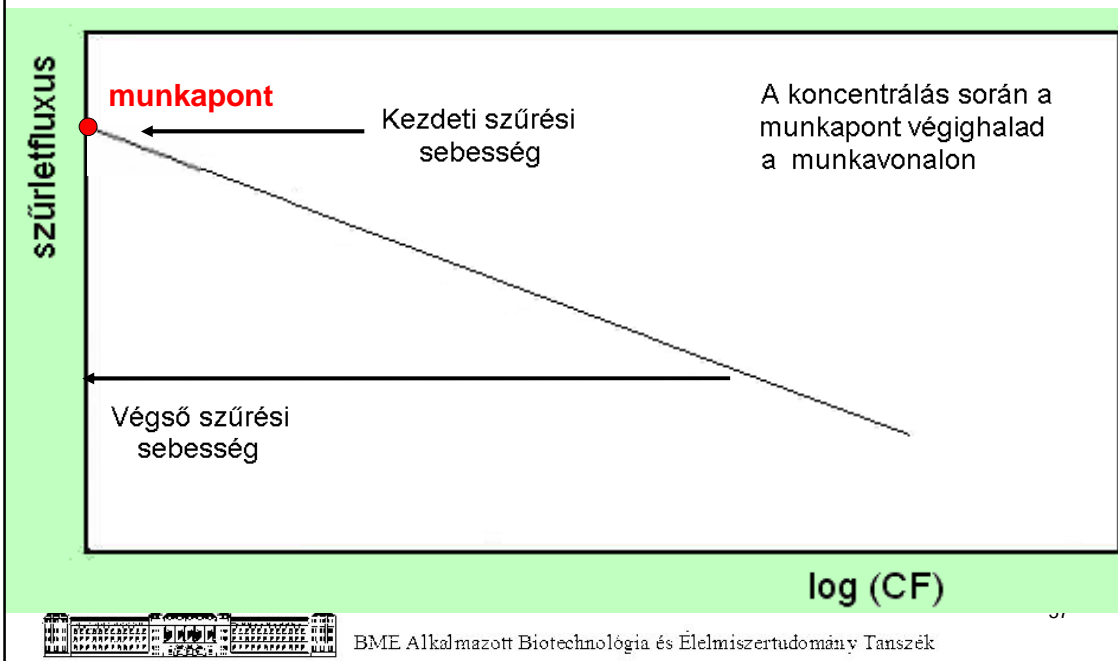
## Az ultraszűrés munkavonala



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

56

## A membránszűrés munkavonala



## A membránszűrés anyagmérlegei

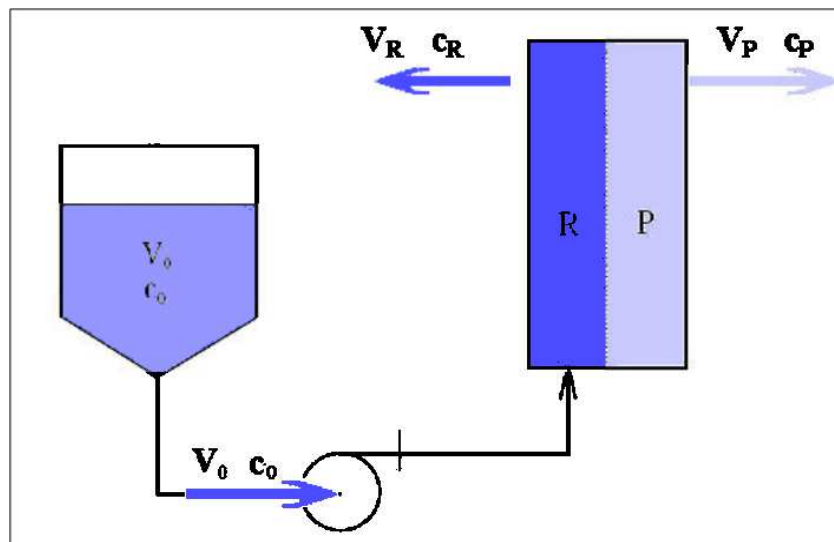
Térfogatáram: 
$$\frac{dV}{dt} = -AJ_v$$

Átlagos fluxus: 
$$J_v = L_p (\Delta p - \Delta \pi)$$

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



## A folyamatos membránszűrés folyamatábrája



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

59

## 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 "örege-  
gedése,, miatt

Állandó retentát oldali koncentráció  $\longrightarrow$  állandó fluxus  $\longrightarrow$

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

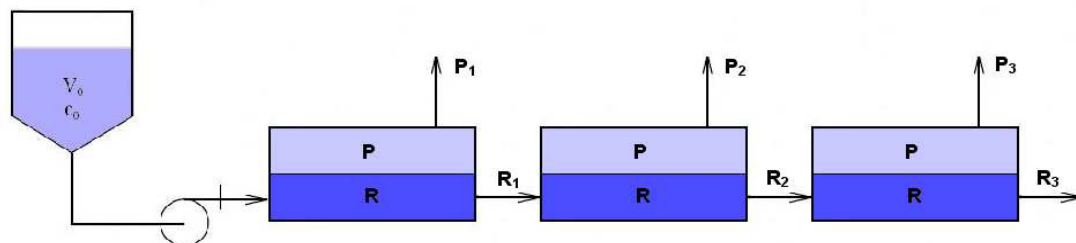


BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

60

## A többlépcsős folyamatos membránszűrés folyamatábrája

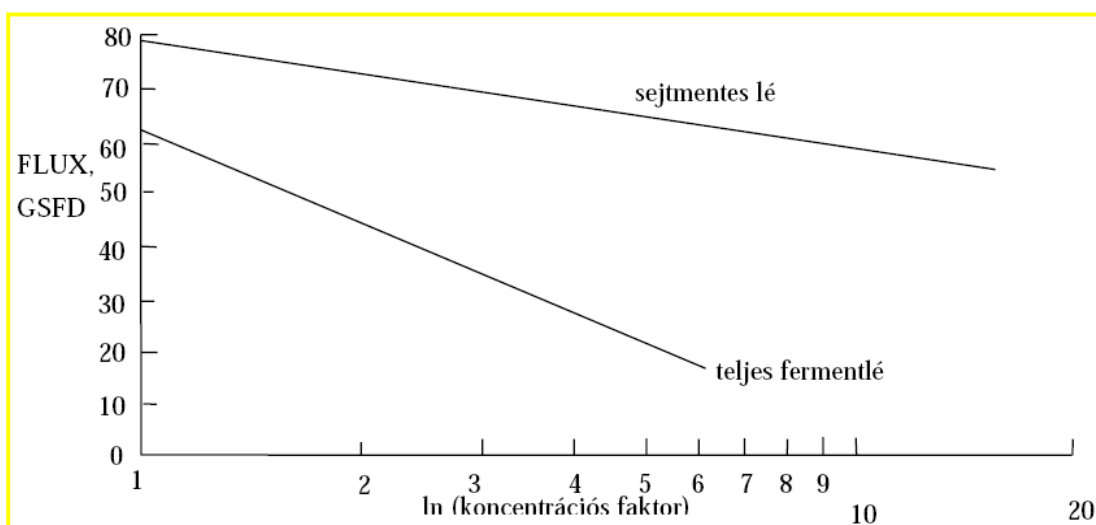
$$CF_1 = \sqrt[3]{CF_{összes}}$$



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

61

## Teljes és szűrt fermentlé membránszűrésének összehasonlítása



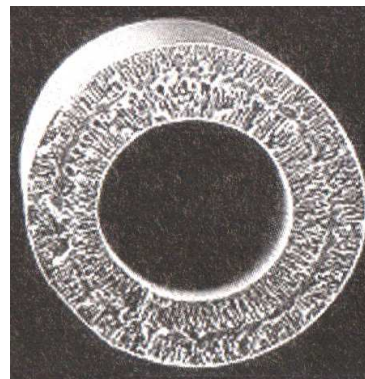
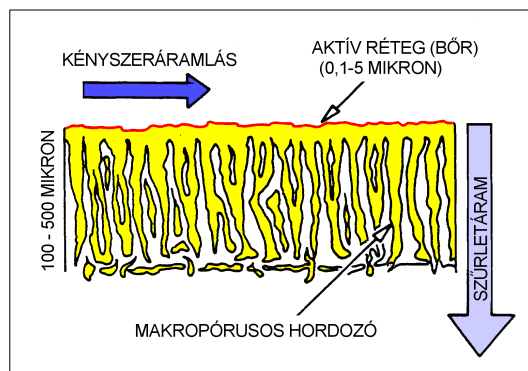
BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

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 üregecszál 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)



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

67

## Membránmodulok

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

Főbb kialakítási típusaik:

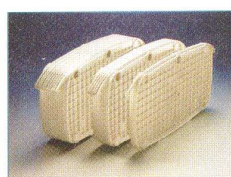
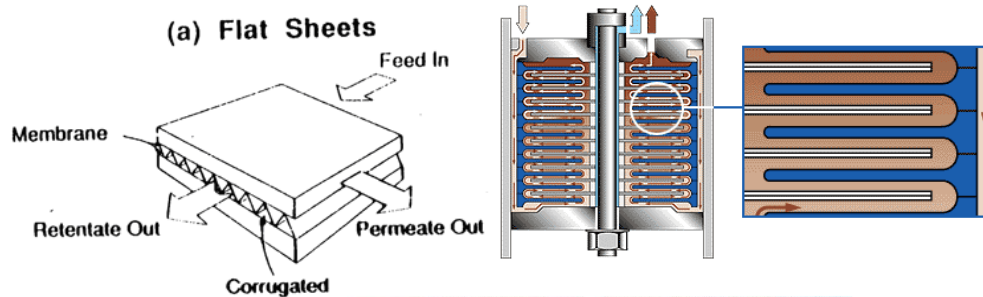
- sík formájú membránok (csak lamináris áramlás)
- **lapmembránok** (legrégebbi, több rétegű lehet, eltömődésre hajlamos, könnyen javítható)



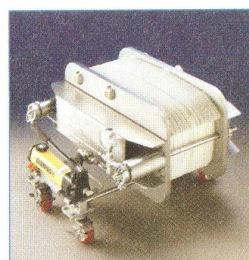
BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

68

## Lapmembrán modulok



Modular 0.1, 0.5 and  
1 m<sup>2</sup> Pods can be scaled  
up to 30 m<sup>2</sup>.



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

69

## Lapmembrán modulok

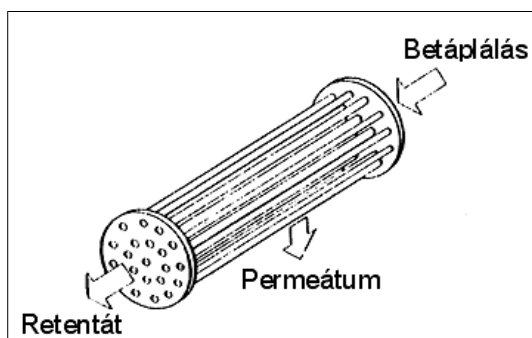


BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

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)

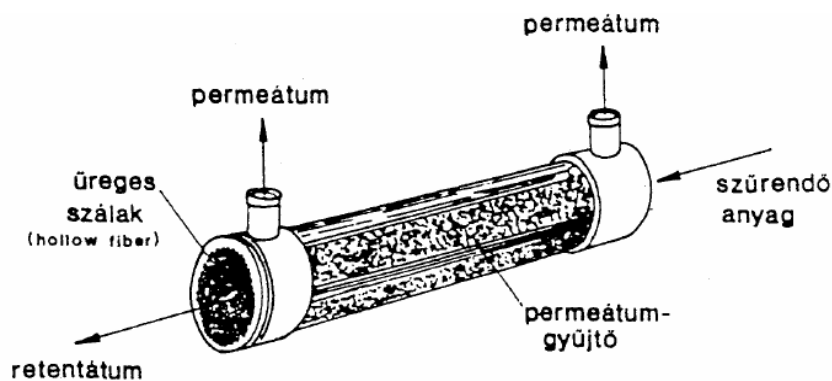


BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

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



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

73

## Membránmodulok

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

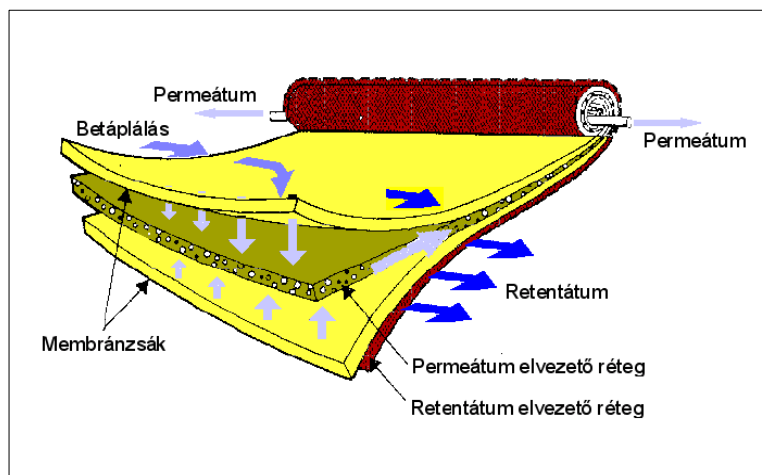


BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

74

## 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.

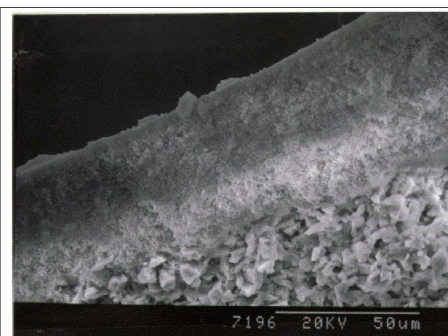
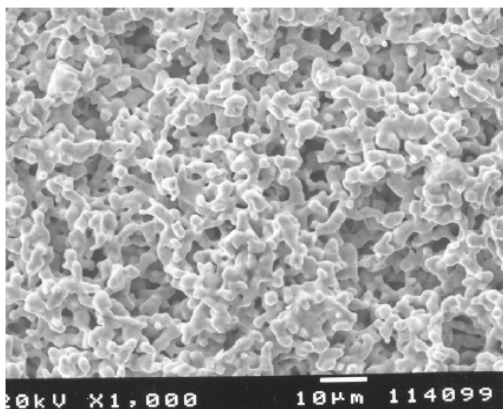


Figure 7. Scanning Electron Micrograph of Multilayer Ceramic Membrane



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

77

## Szinterelt membránok

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

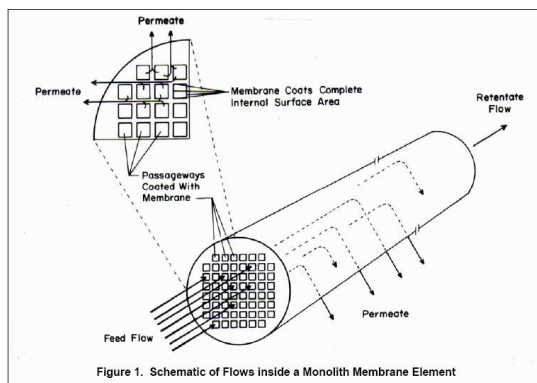
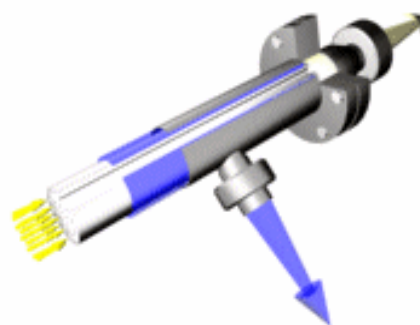


Figure 1. Schematic of Flows Inside a Monolith Membrane Element

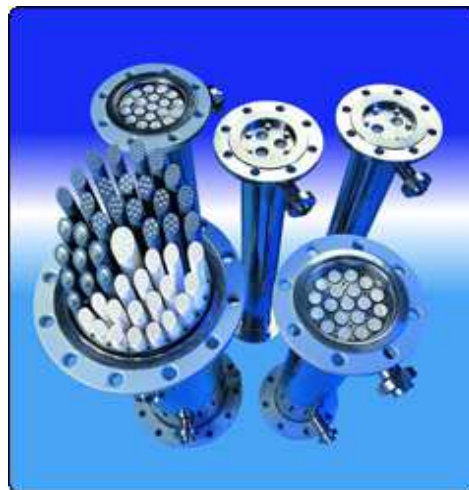
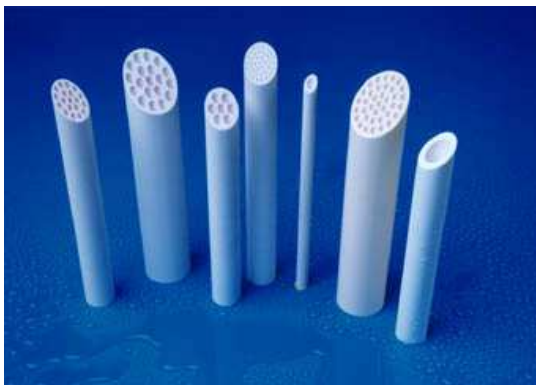


BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

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 —————> vízárték, 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

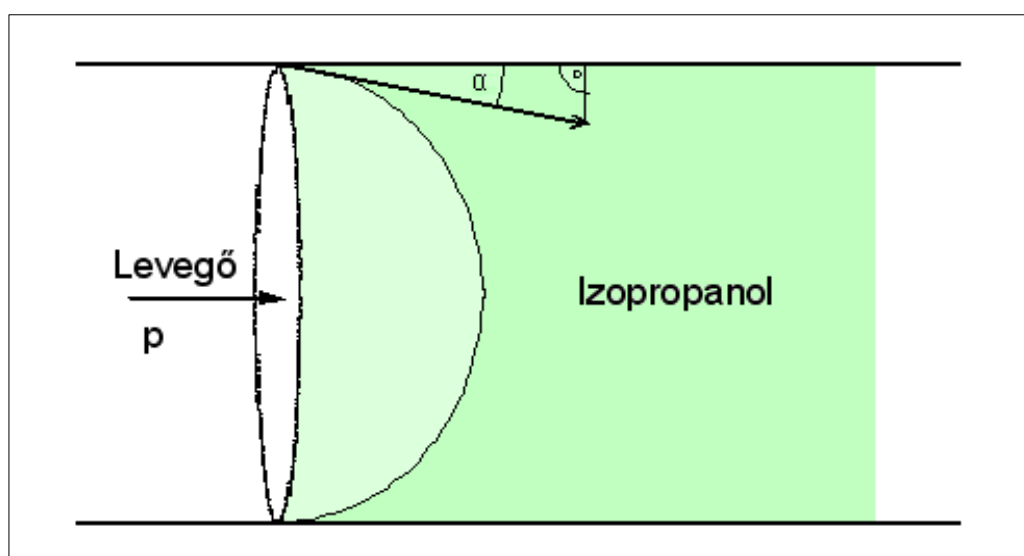
alapelv: ha egy kapillárisból gáznyomással szorítjuk ki a folyadékot, a nyomás és a kapilláris átmérője fordítottan arányos egymással.



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:

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

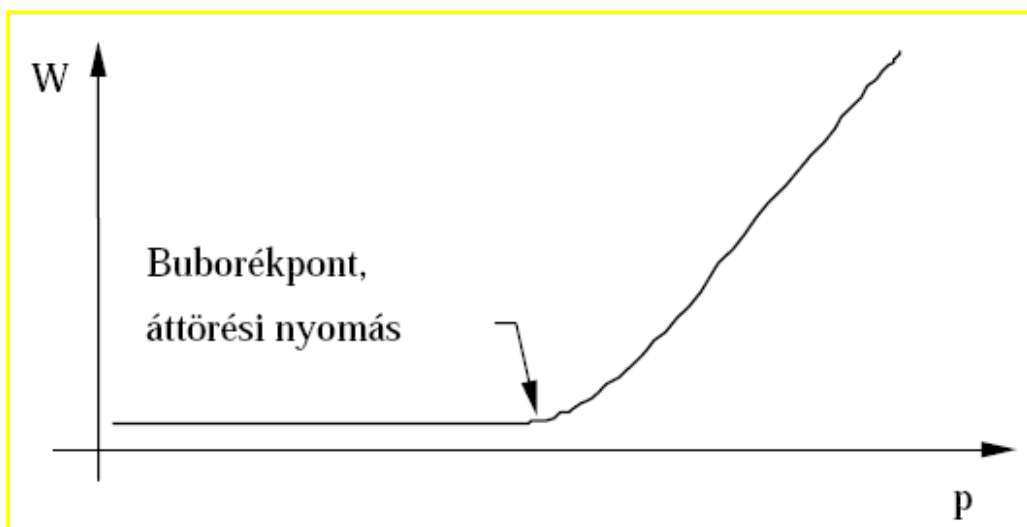
Ha fokozatosan növeljük a gáz nyomását, akkor elsőként a legnagyobb átmérőjű pórusból szorul ki a folyadék, tehát az áttörési nyomás (buborékpont) jellemző a legnagyobb pórus méretére.



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

83

## A buborékpont meghatározás térfogatáram- görbéje



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

84