

## MEMBRÁNműVELETEK

Dr. Pécs Miklós



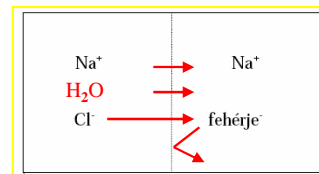
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,  
Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

1

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

4

## MEMBRÁNműVELETEK

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

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

5

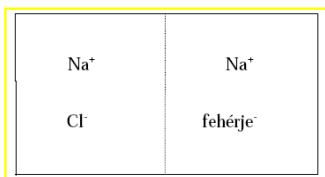
## Bevezetés

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

A transzportok hajtóerejének megértéséhez végezzünk el egy gondolatkísérlet:

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

Mi történik?



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

3

## A membrános elválasztások csoportosítása

	Belépő fluidum	Kilépő fluidum	Hajtóerő	Átlép	Visszamarad
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 ozmózis	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

- gázlegyben egyes komponensek feldúsítása, „molekulaszita”

### Pervaporáció

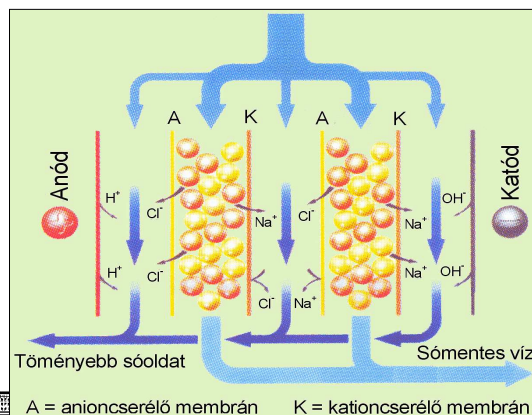
- folyadék komponensei anyagi minőségüktől függő mértékben oldódnak be a membrán anyagába és a túloldalon gőz formájában lépnek ki
- **hajtóerő:** komponens egyensúlyi gőznyomása és a gőztér nyomása közti különbség → vákuum
- **biotechnológiai alkalmazása:** etanol fermentáció
- **analitikai alkalmazása:**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



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

7

## (Hagyományos) elektrodialízis

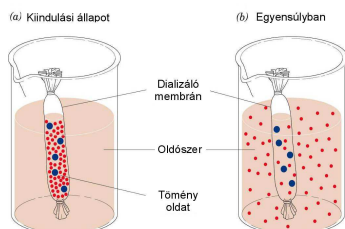


10

## Membránműveletek jellemzése

### Dialízis

- fehérjék kis molekulatömegű szennyezéseinek eltávolítása (pl. sózós után)
- **hajtóerő:** koncentráció-
- **mechanizmus:** diffúzió
- laboratóriumi alkalmazás: dializáló hüvely
- **orvosi alkalmazás:** művese



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

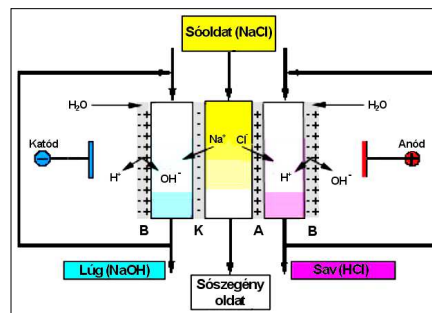
8

## Bipoláris elektrodialízis

Bipoláris membránok: anion- és kationcserélő réteget tartalmaznak.

Áram hatására a víz disszociál →

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



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

11

## 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
- elektrooszmózis: 100 - 200 cm<sup>3</sup> víz/szállított ekvivalens ion
- ellenirányú diffúzió



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

9

## Membránműveletek jellemzése

Az elektrodialízis alkalmazásai:

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

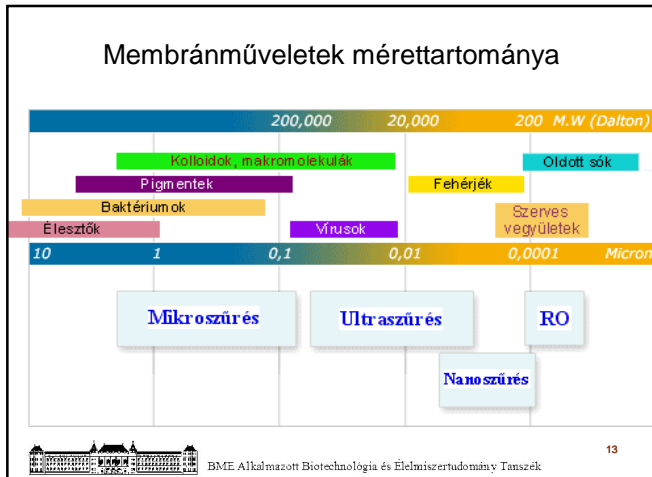
Bipoláris elektrodialízis:

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



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

12



### 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

### Membránműveletek mérettartománya

Ionok, kis molekulák	→	fordított (reverz) ozmózis	
Makromolekulák	→	ultraszűrés	
Lebegő, szilárd részecskék	→	mikroszűrés	

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék 14

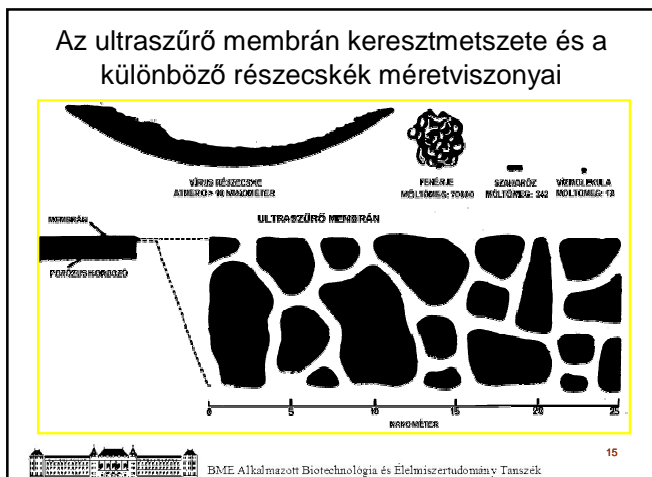
### A fordított ozmózis elve

**OSZMÓZIS**  
Víz áramlik a töményebb oldalra

**EGYENSÚLY**  
Az ozmózi nyomás egyenlő az üzemi nyomással

**FORDÍTOTT OSZMÓZIS**  
A nagyobb üzemi nyomás visszafordítja a víz áramlását a higabb oldalra

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék 17



### Membránműveletek jellemzése

#### Nanoszűrés:

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

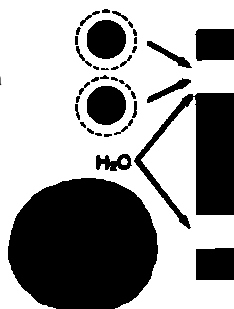
- hajtóerő: nyomás (kisebb, 10 - 30 bar)
- alkalmazások: kis molekulák közötti szelektív elválasztás, pl. savak és cukrok

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)



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

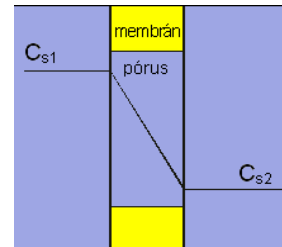
19

## Az elméleti koncentrációprofil

A diffundáló oldott anyag árama:

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

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



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

22

## 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

Nyomáskülönbség hatására létrejövő komponens áram

D'Arcy törvénye:  $J_{vol} = -\frac{k}{\mu} \text{grad } p \Rightarrow = \frac{k \cdot \Delta p}{\mu L}$

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

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

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

$\downarrow$   
 diffúziós  
 transzport

$\downarrow$   
 konvekciós  
 transzport

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék 25

### Eltérések az elméleti koncentrációprofiltól

Gélpolarizáció

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék 28

### Eltérések az elméleti koncentrációprofiltól

Koncentrációs polarizáció

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék 26

### Eltérések az elméleti koncentrációprofiltól

A határretegben:

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

Ellenállásokkal felírva:

$$J_v = \frac{1}{R_m + R_{g\acute{e}l}} (\Delta p - \Delta \pi)$$

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék 29

### Eltérések az elméleti koncentrációprofiltól

Állandósult állapotban:

a konvekció a membrán felületére =  
= ellenirányú diffúzió a főtömegbe

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

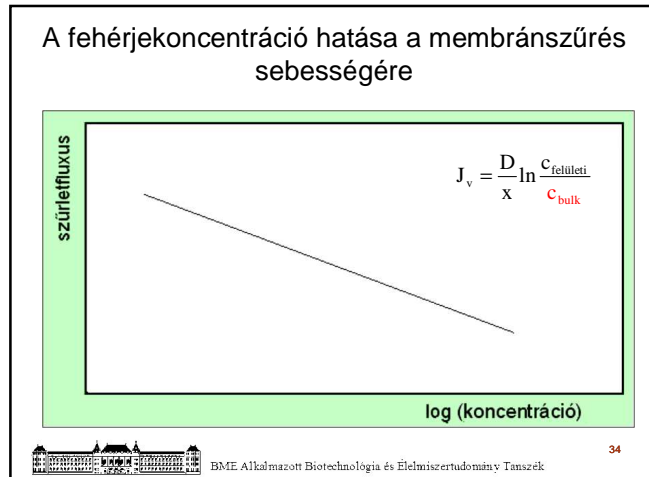
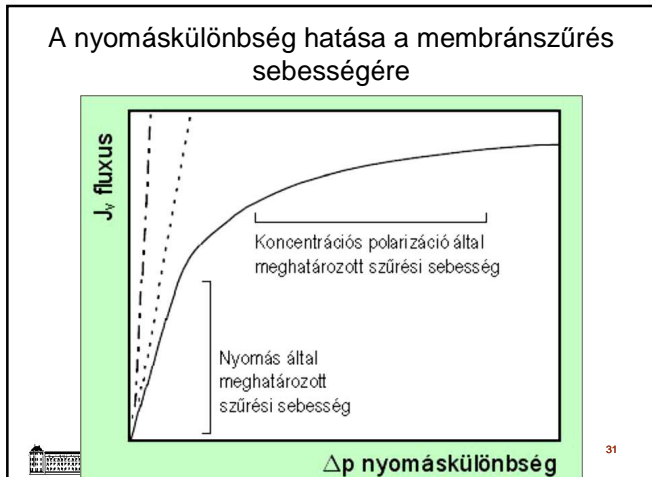
$$J_v = \frac{D}{x} \ln \frac{c_{\text{felületi}}}{c_{\text{bulk}}}$$

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék 27

### A technológiai paraméterek hatása

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

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék 30



### 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 melegeése.

A turbulencia jellemezhető: Re szám  
P/V  
nyírósebesség

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

32

### A technológiai paraméterek hatása

A membrán (ifjú)kora

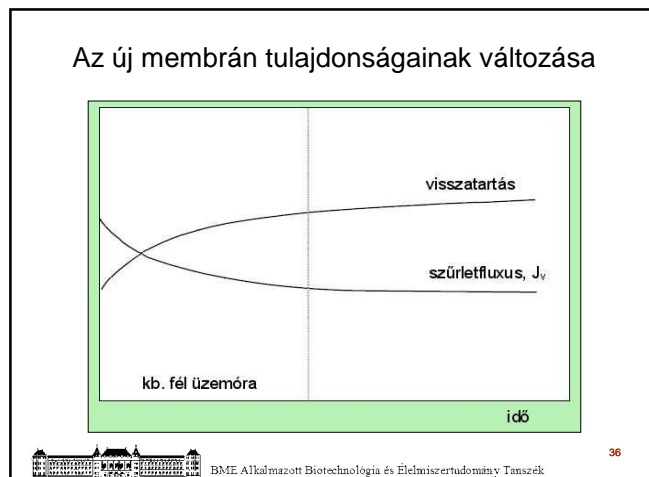
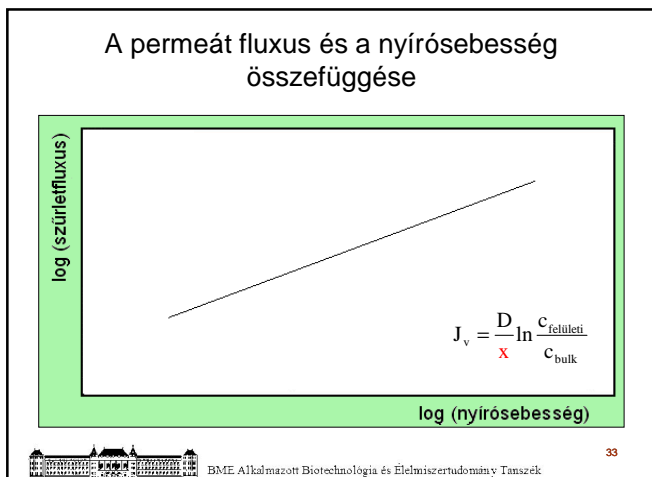
A vadonatúj membrán tulajdonságai a legelső használatba vételnél erősen megváltoznak.

A membrán öregedésére ható legfontosabb tényezők:

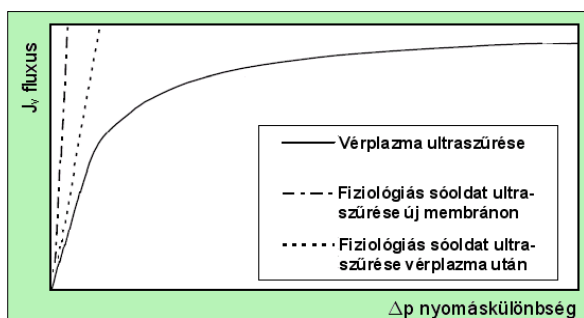
- a fehérjék adszorpciója a membrán felületén
- (irreverzibilis) gél vagy réteggépződés a felületén
- szilárd részecskék (sejtörmelékek), vagy fehérjék "beszorulása" a membrán pórusaiba

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

35



## A membrán "előéletének" hatása



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

37

## 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

## A technológiai paraméterek hatása

## Hőmérséklet

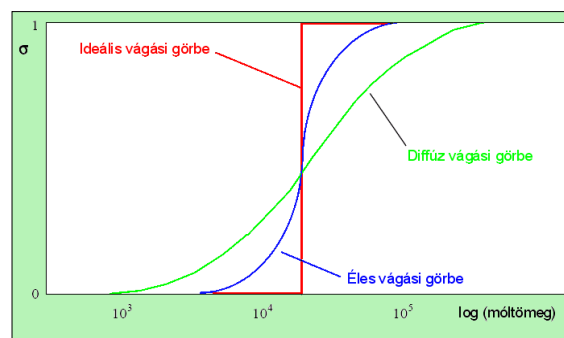
- viszkozitás,
- adszorpció folyamatok egyensúlyi viszonyai,
- molekulák diffúziós állandói,
- membrán anyagának tulajdonságai változnak.



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

38

## Vágási görbék



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

41

## 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

– permeabilitás ( $L_p$ ) vagy vízérték: a tiszta oldószer (ionmentes víz) fluxusa a membránon üzemi nyomáson és hőmérsékleten. [ $m^3/m^2 \cdot h$ ] vagy [ $m^3/m^2 \cdot h \cdot \text{bar}$ ]

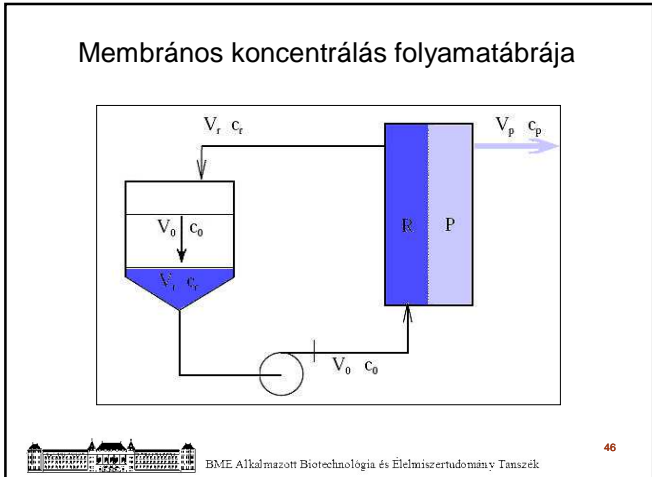
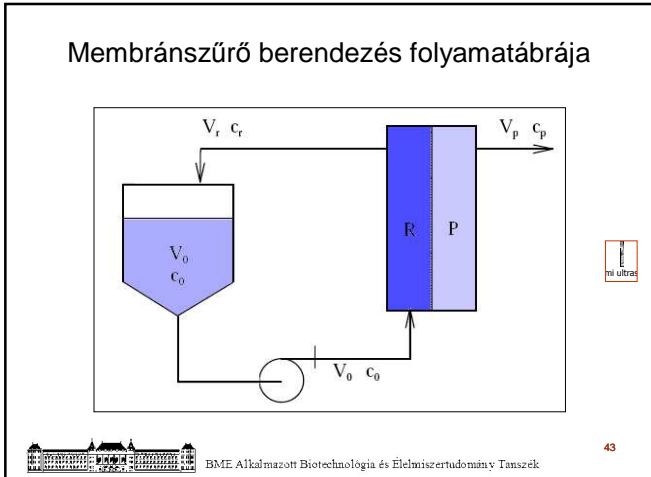
– folyadékáramok:

- betáplálás (feladás, input) ( $V_0 ; c_0$ )
- membránon áthaladó anyag: szűrlet = permeátum ( $V_p ; c_p$ )
- visszatartott anyag: koncentrátum = retentát ( $V_r ; c_r$ )



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

42



### A membránszűrés anyagmérlegei

- koncentrációs faktor (CF): a visszatartott komponensek betöményítésének mértékét adhatjuk meg vele:
 
$$CF = \frac{\text{bevitelt térfogat}}{\text{visszatartott térfogat}} = \frac{V_0}{V_r}$$
- kihozatal (recovery): a megszűrt, megtisztított oldat mennyiségére jellemző:
 
$$R = \frac{\text{permeát térfogat}}{\text{bevitelt térfogat}} = \frac{V_p}{V_0}$$
- összefüggésük:
 
$$CF = \frac{1}{1 - R}$$

44

### A membránszűrés anyagmérlegei

A koncentráció differenciális anyagmérlege:

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

integrálva:

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

47

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

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

45

### A membránszűrés anyagmérlegei

Elválasztás membránszűréssel

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

Elválasztás vizsgálatához:

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

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

48



## A membránszűrés anyagmérlegei

### Diaszűrés

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

Állandó retentát térfogat:

$$V_0 = V_R \quad V_P = V_{v\acute{z}}$$



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

49

## A membránszűrés anyagmérlegei

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

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

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

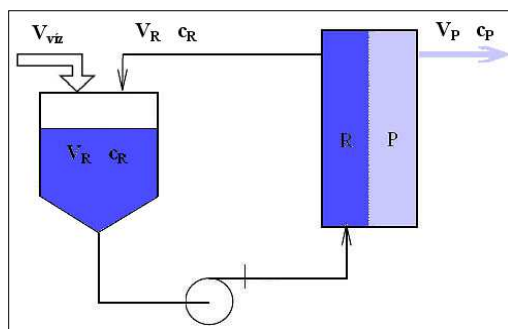
$$c_R = c_0 e^{-\left(\frac{V_{v\acute{z}}}{V_0}\right)} \longrightarrow \text{a koncentráció exponenciálisan csökken.}$$



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

52

## A diaszűrés folyamatábrája

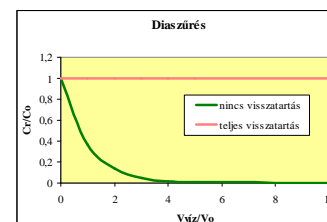


BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

50

## Diaszűrés

$\frac{V_{v\acute{z}}}{V_0}$	Eltávolítás, %
1	63.2121
2	86.4665
3	95.0213
4	98.1684
5	99.3262
10	99.9995



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

53

## 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:

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



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

51

## A diaszűrés anyagmérlegei

Elválasztás, tisztítás diaszűréssel

két komponensre: 
$$\begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \end{pmatrix}_R = \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \end{pmatrix}_0 \exp\left[-\frac{V_{v\acute{z}}}{V_0} (\sigma_2 - \sigma_1)\right]$$



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

54


### A membránszűrés anyagmérlegei

Az ultraszűrés munkavonala

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

konstansokkal felírva:

$$J_v = A_1 - A_2 \ln c_b \quad c_R = c_0 CF^\sigma$$

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



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék 55

### A membránszűrés anyagmérlegei

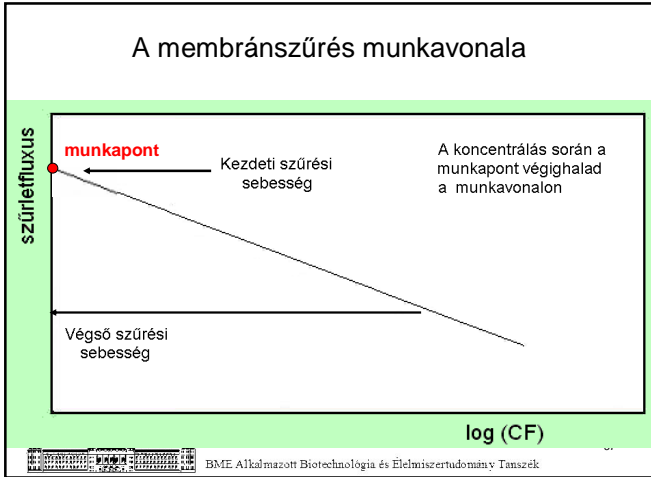
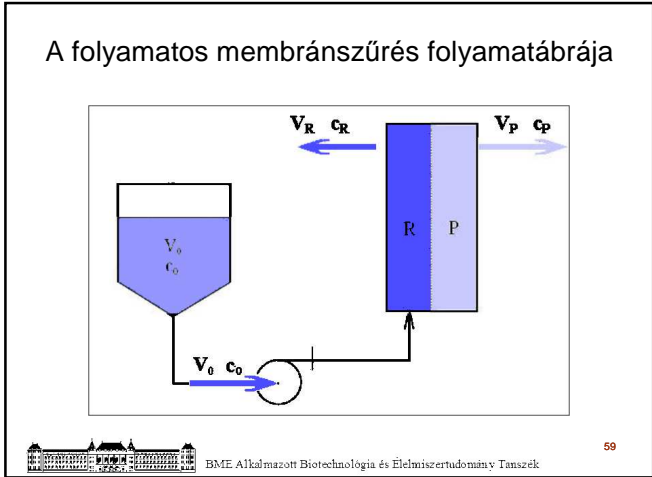
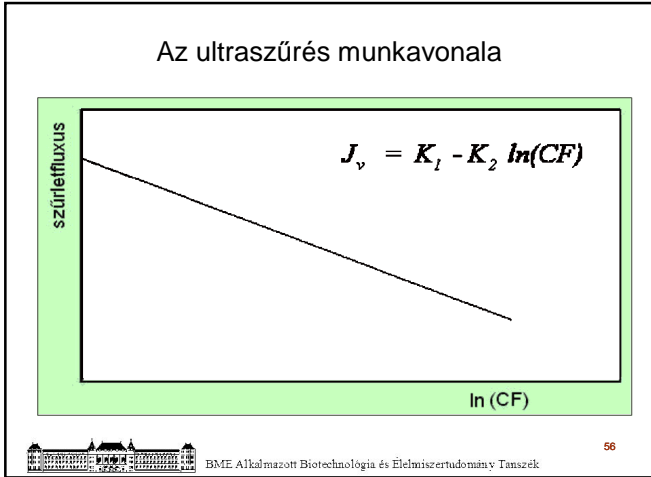
Térfogatáram:  $\frac{dV}{dt} = -AJ_v$

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

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



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék 58



### A membránszűrés anyagmérlegei

A koncentrációs faktor értelmezése megváltozik:

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

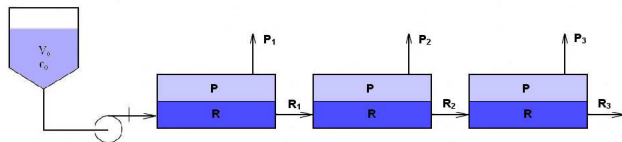
Folyamatos működés  $\rightarrow$  állandósult állapot  $\rightarrow$   
 a paraméterek az idővel alig változnak  $\rightarrow$  csak a membrán "öregedése" miatt  
 Állandó retentát oldali koncentráció  $\rightarrow$  állandó fluxus  $\rightarrow$   
 a munkapont nem vándorol  $\rightarrow$  a berendezés állandóan a legnagyobb fluxus értéken működik



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék 60

### A többlépcsős folyamatos membránszűrés folyamatábrája

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



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

61

### A membránok jellemzői

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

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

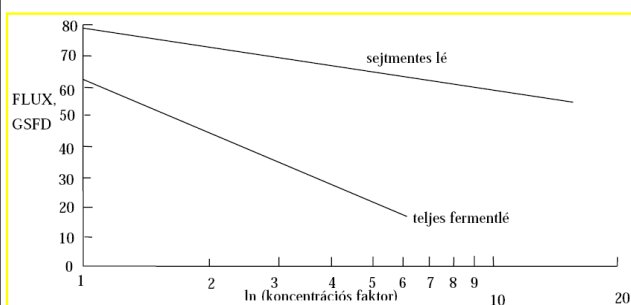
A **folyadékmembránok** nem elegendő folyadékréteget képeznek, amely szelektíven engedi át a különböző komponenseket → két permeábilis film között, folyadék felszínén, emulgeáló szerekkel vagy anélkül is létrehozható.



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

64

### Teljes és szűrt fermentlé membránszűrésének összehasonlítása



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

62

### 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.



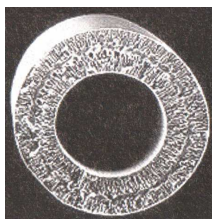
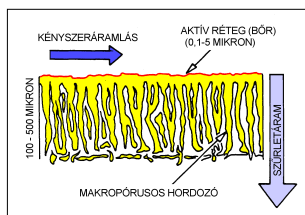
BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

65

### A membránok jellemzői

#### Membránok csoportosítása

Szerkezet szerint: izotróp vagy anizotróp



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

63

### 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



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

66

## A membránok jellemzői

Pórusok utólagos létrehozásának eszközei:

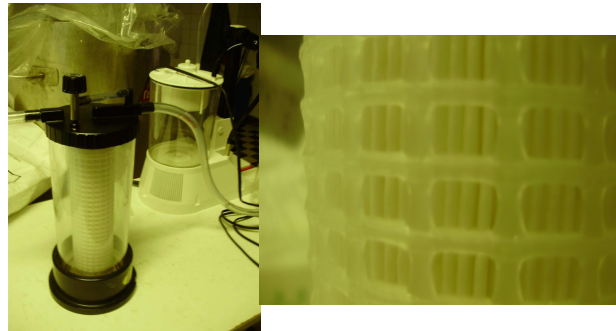
- nyújtás (a pórusok közel azonos méretűek, de nem kör keresztmetszetűek)
- lézersugaras perforálás
- bombázás elemi részecskékkel (a besugárzás következtében létrejött szerkezeti hibákat maratófürdőben tágitják pórusokká)



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

67

## Lapmembrán modulok



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

70

## 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)

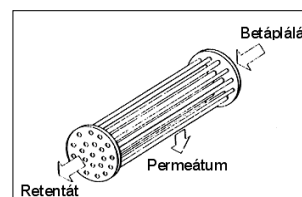


BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

68

## Csőmembrán modulok

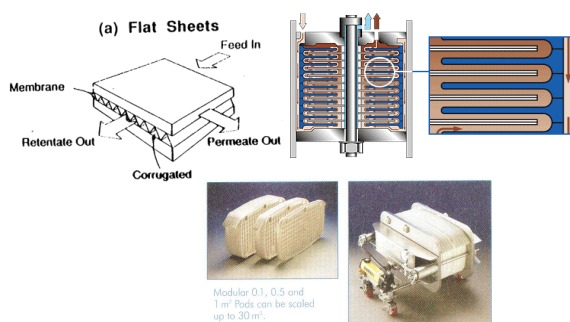
- cső formájú membránok (turbulens áramlás is lehet)
  - **csőmembránok** (belső méret 12-25 mm, belső és külső merevítésűek, 6-20 cső egy modulban, egyszerű tisztítás, nagy helyigény)



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

71

## Lapmembrán modulok

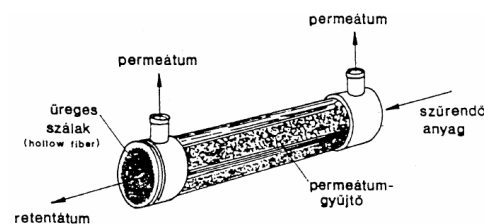


BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

69

## Membránmodulok

- **üreges szál (hollow fiber) membránok** (belső méret 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

### Ipari membránszűrő telep

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

76

### 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

### Szervetlen (kerámia, fém) modulok

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

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

77

### Membránmodulok

**spirális membránmodulok:** felfekercselt zsákszerű membránokból áll. Távtartó hálók. Nem javítható.

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

75

### Szinterelt membránok

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

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

78

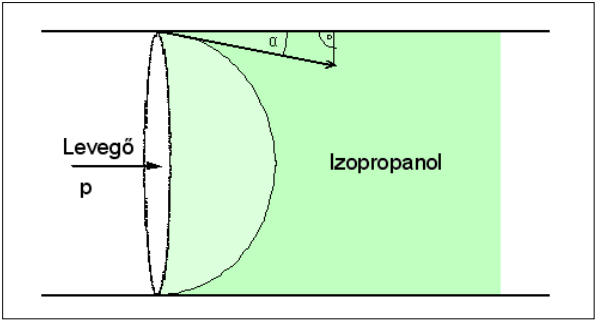
### Szinterelt membránok

Szinterelt kerámia hasáb, amelyben párhuzamosan csőszerű járatok futnak.



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék 79

### A gáz-folyadék határfelület kapillárisban



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék 82

### Üzemközi membránvizsgálat. Buborékpont meghatározása

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

**Vízérték:** fehérjék adszorpciója irreverzibilis változásokat okoz → vizsgálat: közbzés

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék 80

### 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

### Üzemközi membránvizsgálat. Buborékpont meghatározása

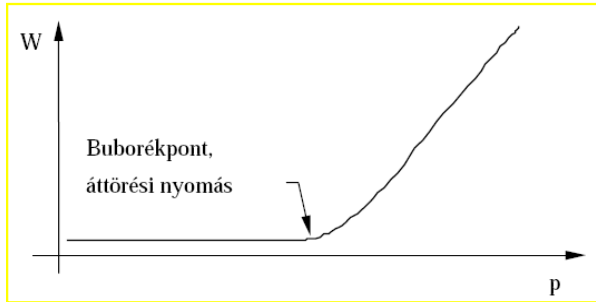
**Integritásvizsgálat:** buborékpont meghatározás

elsősorban hidrofil, mikropórusos membránoknál használható

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

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék 81

### A buborékpont meghatározás térfogatáram-görbéje



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék 84