

# MEMBRÁN MŰVELETEK

Dr. Pécs Miklós



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 gondolatkísérlet:  
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

---

---

---

---

---

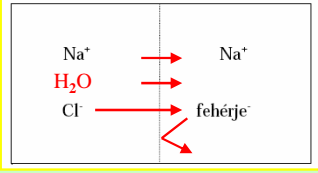
---

---

---


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

A fehérje ionok nem tudnak behatolni a bal oldali térbe.



A klorid ionok 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	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 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

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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  $\xrightarrow{\text{vákuum}}$
- biotechnológiai alkalmazása: etanol fermentáció
- analitikai alkalmazása: közvetlen mintavételezés a fermentorból tömegspektrometriás méréshez




---

---

---

---

---

---

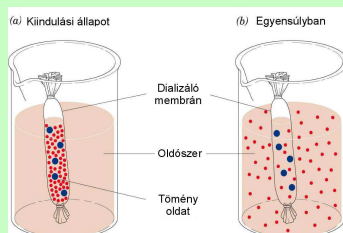
---

---

## Membránműveletek jellemzése

### Dialízis

- fehérjék kis molekulatömegű szennyezéseinek eltávolítása (pl. ki-sózás után)
- hajtóerő: koncentráció-
- 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  $\Omega/\text{cm}^2$  (0.5 M NaCl oldattal egyensúlyban)
- iontranszportszám: 0.85 - 0.95
- elektroozmózis: 100 - 200  $\text{cm}^3$  víz/szállított ekvivalens ion
- ellenirányú diffúzió




---

---

---

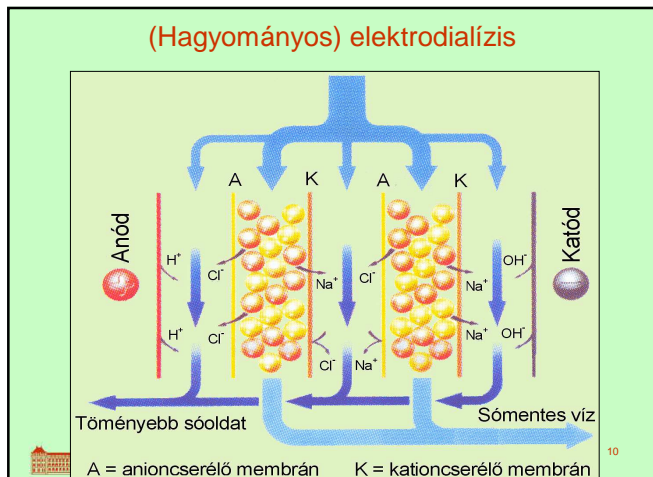
---

---

---

---

---




---

---

---

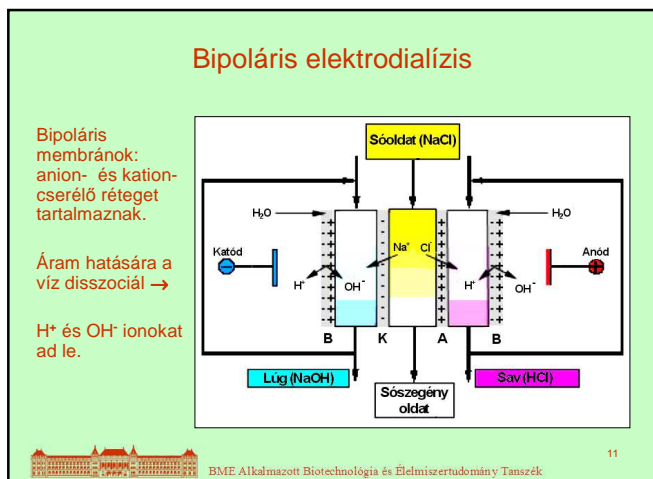
---

---

---

---

---




---

---

---

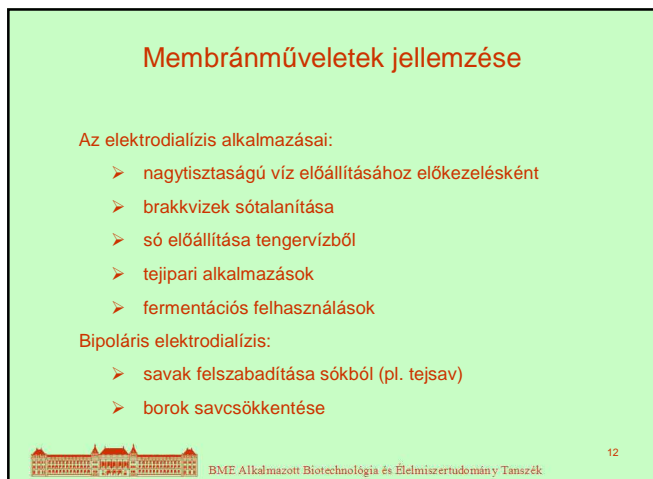
---

---

---

---

---




---

---

---

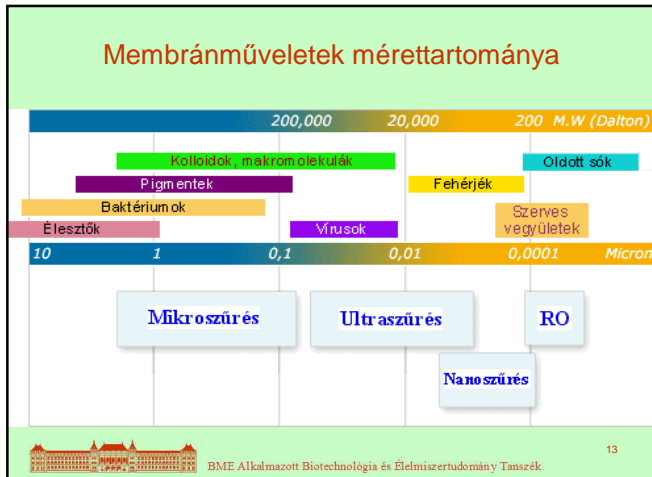
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

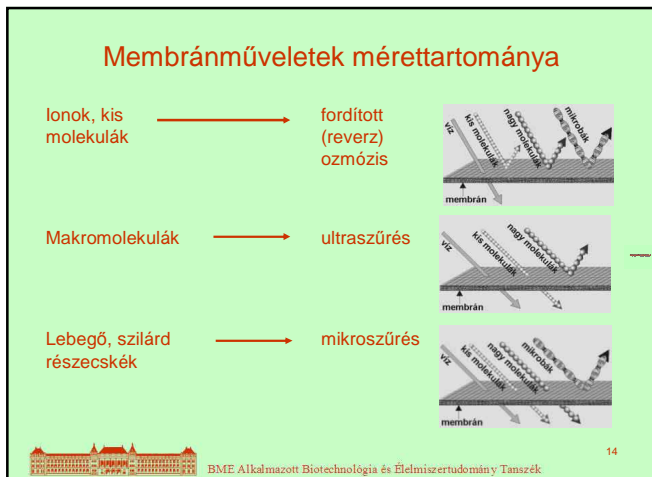
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

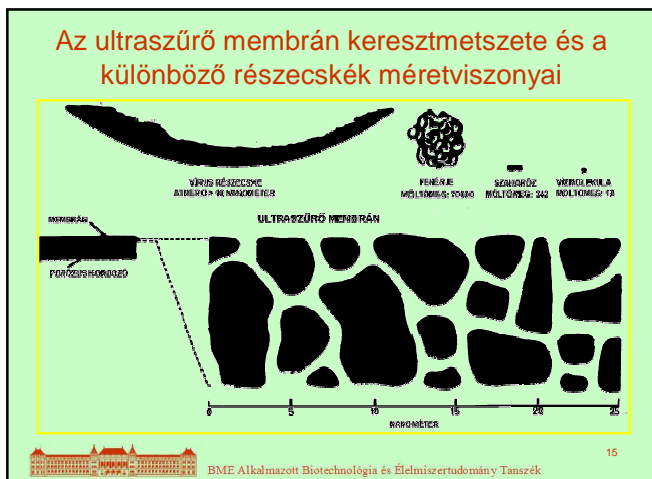
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### 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

---

---

---

---

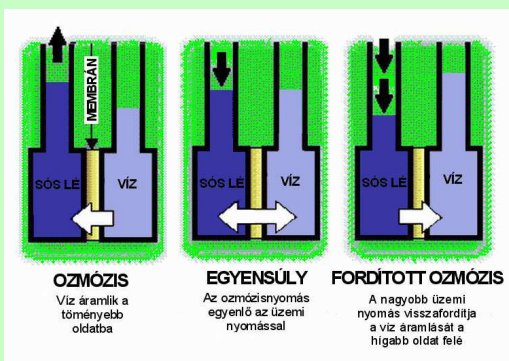
---

---

---

---

### A fordított ozmózis elve



**OZMÓZIS**


Víz áramlik a töményebb oldatba

**EGYENSÚLY**

Az ozmósi nyomás egyenlő az üzemi nyomással

**FORDÍTOTT OZMÓZIS**

A nagyobb üzemi nyomás visszafordítja a víz áramlását a higabb oldal felé



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

---

---

---

---

---

---

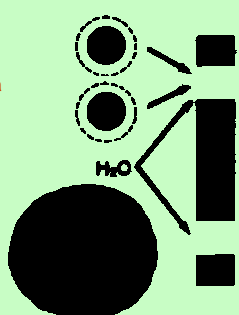
---

---

### Membránműveletek jellemzése

#### Ultraszűrés (UF)

- mérettartomány: 500 – 100 000 Da
- 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  $\mu\text{m}$
- Szitahatás
- élő sejtek visszatartása
- élelmiszeripari alkalmazása: oldatok sterilizése



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék 20

---

---

---

---

---

---

---

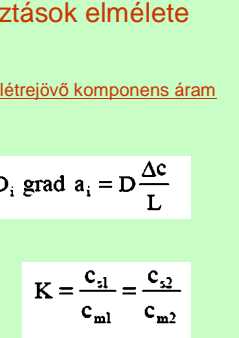
---

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



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék 21

---

---

---

---

---

---

---

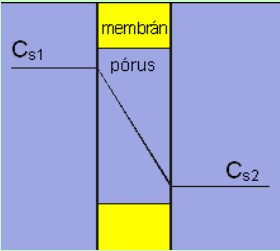
---


### 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 – „megosztási hányados”  
P<sub>m</sub> – permeabilitás




BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### 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

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### 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

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



### 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 koncentrácioprofíltól

**Koncentrációs polarizáció**

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

26

---

---

---

---

---

---

---

---

### Eltérések az elméleti koncentrácioprofíltól

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

---

---

---

---

---

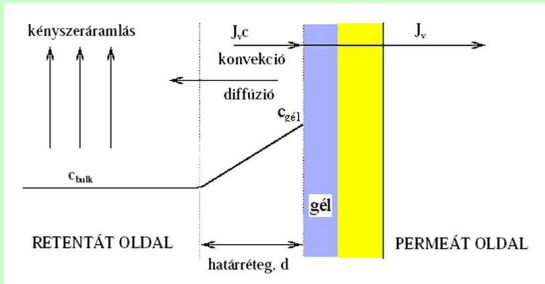
---

---

---

### Eltérések az elméleti koncentrációprofiltól

#### Gélpolarizáció




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Eltérések az elméleti koncentrációprofiltól

A határretegben:

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

Ellenállásokkal felírva:

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




---

---

---

---

---

---

---

---

---

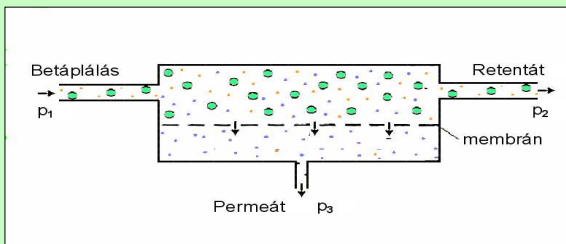
---

### A technológiai paraméterek hatása

Nyomáskülönbség

hajtóerő:

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




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



### A fehérjekoncentráció hatása a membránszűrés sebességére

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

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

---

---

---

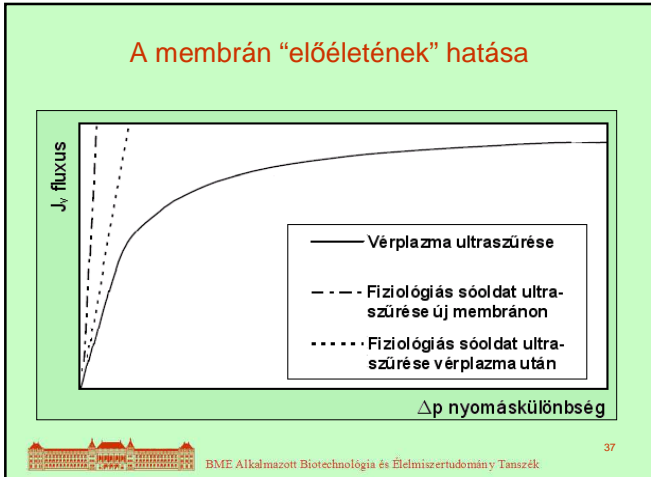
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

### A 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.



40

---

---

---

---

---

---

---

---

### Vágási görbék




41

---

---

---

---

---

---

---

---

### A membránszűrés anyagmérlegei

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



42

---

---

---

---

---

---

---

---

### Membránszűrő berendezés folyamatábrája

43

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

---

---

---

---

---

---

---

---

### 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 megszűrt, megtisztított oldat mennyiségére jellemző:
 
$$R = \frac{\text{permeát térfogat}}{\text{bevitt térfogat}} = \frac{V_p}{V_0}$$
- összefüggésük:
 
$$CF = \frac{1}{1-R}$$

44

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

---

---

---

---

---

---

---

---

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

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

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

45

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

---

---

---

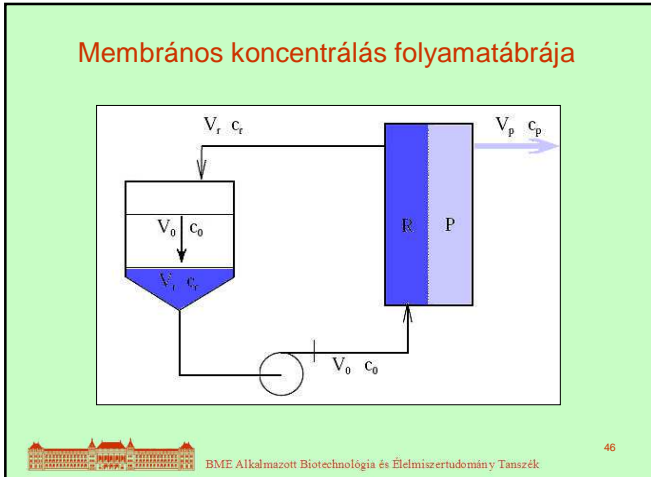
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

### A membránszűrés anyagmérlegei

A koncentráls differenciális anyagmérlege:

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

integrálva:

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

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék 47

---

---

---

---

---

---

---

---

### A membránszűrés anyagmérlegei

Elválasztás membránszűréssel

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

Elválasztás vizsgálatához:

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

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

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék 48

---

---

---

---

---

---

---

---



### A membránszűrés anyagmérlegei

Diaszűrés

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

Állandó retentát térfogat:

$$V_0 = V_R$$

$$V_P = V_{v\acute{z}}$$




---

---

---

---

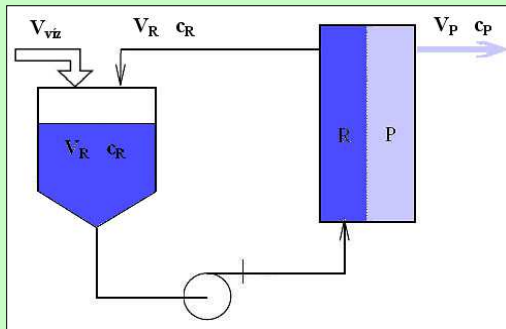
---

---

---

---

### 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:

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




---

---

---

---

---

---

---

---


### A membránszűrés anyagmérlegei

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

$C_R = C_0$   $\longrightarrow$  a koncentráció nem csökken.

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

$C_R = C_0 e^{-\frac{V_{víz}}{V_0}}$   $\longrightarrow$  a koncentráció exponenciálisan csökken.



52  
BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

---

---

---

---

---

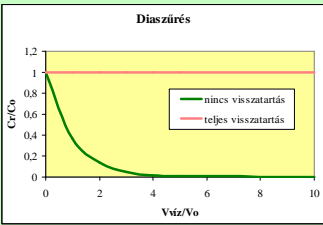
---


---

---

### Diaszűrés

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





53  
BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

---

---

---

---

---

---


---

---

### A diaszűrés anyagmérlegei

Elválasztás, tisztítás diaszűréssel

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



54  
BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

---

---

---

---

---

---

---

---

### 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

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

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



58 BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

---

---

---

---

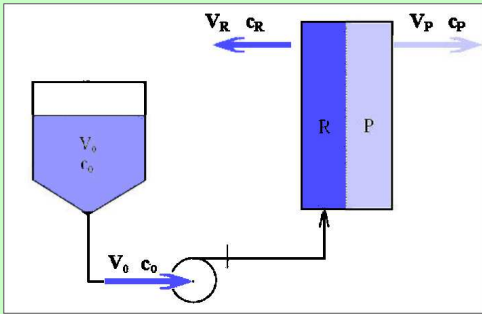

---

---

---

---

### A folyamatos membránszűrés folyamatábrája

59 BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

---

---

---

---

---

---

---


---

### 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 "öre-  
 gedése", miatt  
 Állandó retentát oldali koncentráció  $\rightarrow$  állandó fluxus  $\rightarrow$   
 a munkapont nem vándorol  $\rightarrow$  a berendezés állandóan a  
 legnagyobb fluxus értéken működik



60 BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

---

---

---

---

---

---

---

---

### A többlépcsős folyamatos membránszűrés folyamatábrája

$$CF_1 = \sqrt[3]{CF_{összes}}$$

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék
61

---

---

---

---

---

---

---

---

### Teljes és szűrt fermentlé membránszűrésének összehasonlítása

ln (koncentrációs faktor)	sejmentes lé (FLUX, G/SFD)	teljes fermentlé (FLUX, G/SFD)
1	80	65
2	75	55
3	70	45
4	65	35
5	60	25
6	55	18
7	50	12
8	45	8
9	40	5
10	35	3
20	20	1

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 hártát** szinte bármely hordozóra fel lehet vinni, de előfordulnak teljesen szeretlen 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 előállítás

#### 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 utólag 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)




---

---

---

---

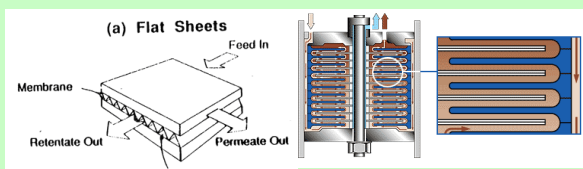
---

---

---

---

### Lapmembrán modulok



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




---

---

---

---

---


---

---

---

### Lapmembrán modulok



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

70

---

---

---

---

---

---

---

---

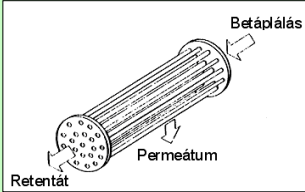
---


---

### 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

---

---

---

---

---

---

---

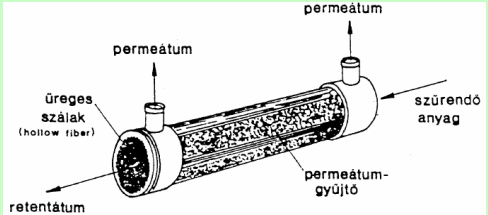
---


---

---

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


 BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék
 74

---

---

---

---

---

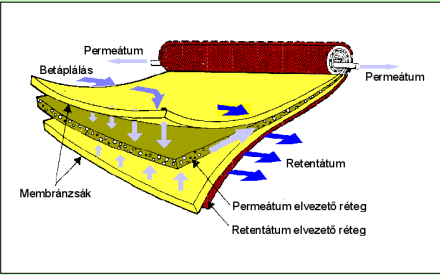
---


---

---

### Membránmodulok

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




 BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék
 75

---

---

---

---

---

---

---

---

### Ipari membrászűrő 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 kerámia rétegen történik.






BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

77

---

---

---

---

---

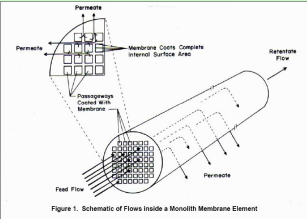
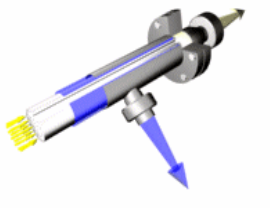
---


---

---

### 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

---

---

---

---

---

---


---

---

### Üzemközi membránvizsgálat. Buborékpont meghatározása

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

**Vizérték:** 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 gáznomással szorítjuk ki a folyadékot, a nyomás és a kapilláris átmérője fordítottan arányos egymással.

 BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék 81

---

---

---

---

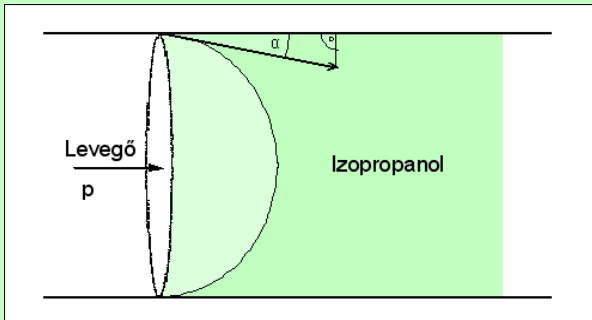
---

---

---

---

### A gáz-folyadék határfelület kapillárisban




---

---

---

---

---

---

---

---

### 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.

---

---

---

---

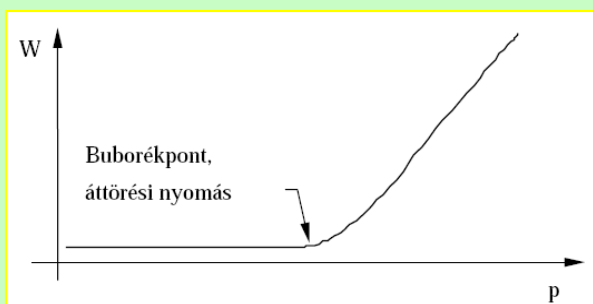
---

---

---

---

### A buborékpont meghatározás térfogatáram-görbéje




---

---

---

---

---

---

---

---