

## MEMBRÁNműVELETEK

Dr. Pécs Miklós



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,  
Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

1

---

---

---

---

---

---

---

---

## MEMBRÁNműVELETEK

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

---

---

---

---

---

---

---

---

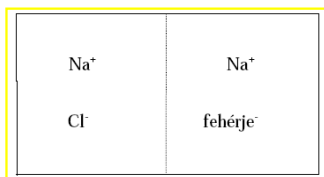
## Bevezetés

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

A transzportok hajtóerejének megértéséhez végezzünk el egy gondolat-kísérletet:

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

Mi történik?



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

3

---

---

---

---

---

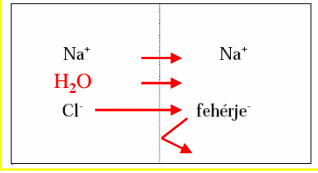
---

---

---


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 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!



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék 5

---

---

---

---

---

---

---

---

### 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 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

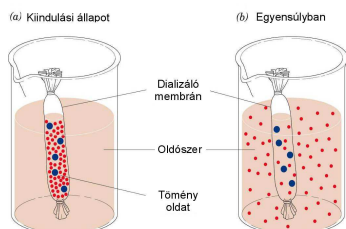
➤ fehérjék kis molekulatömegű szennyezőseinek eltávolítása (pl. ki-sózás után)

➤ 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
- elektroosmózis: 100 - 200  $\text{cm}^3$  víz/szállított ekvivalens ion
- ellenirányú diffúzió



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

9

---

---

---

---

---

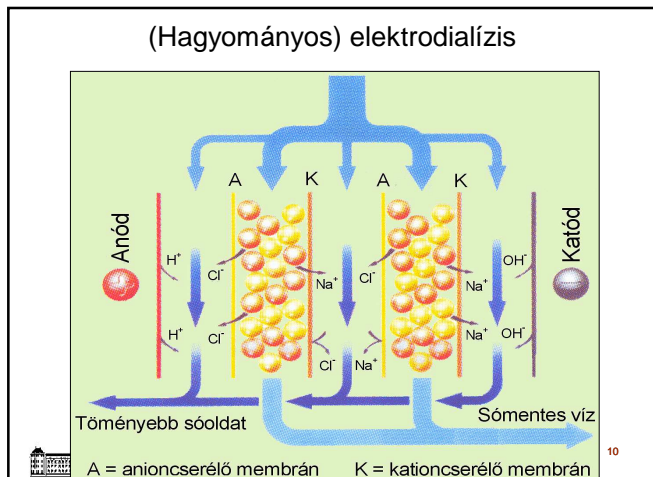
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

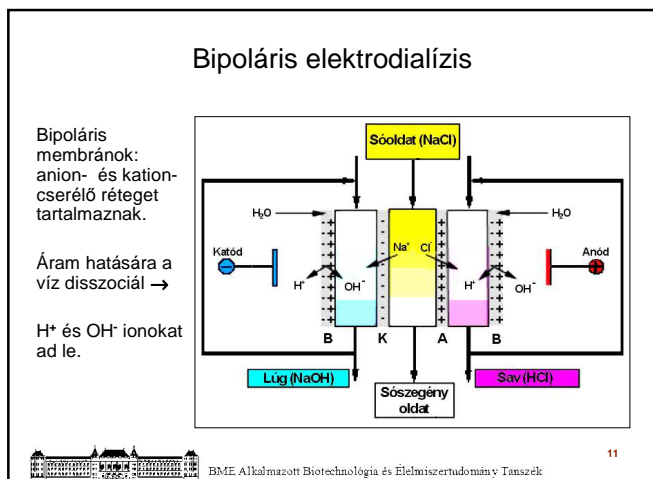
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### 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

---

---

---

---

---

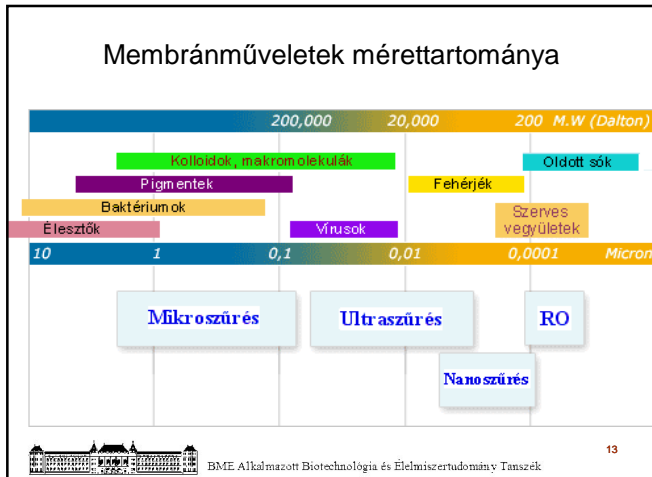
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

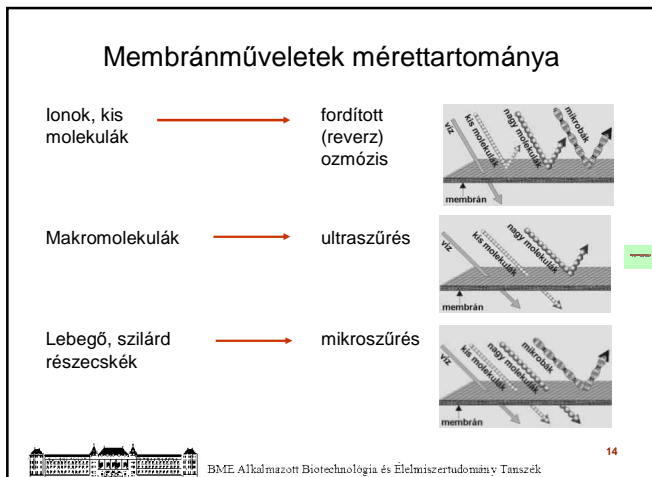
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

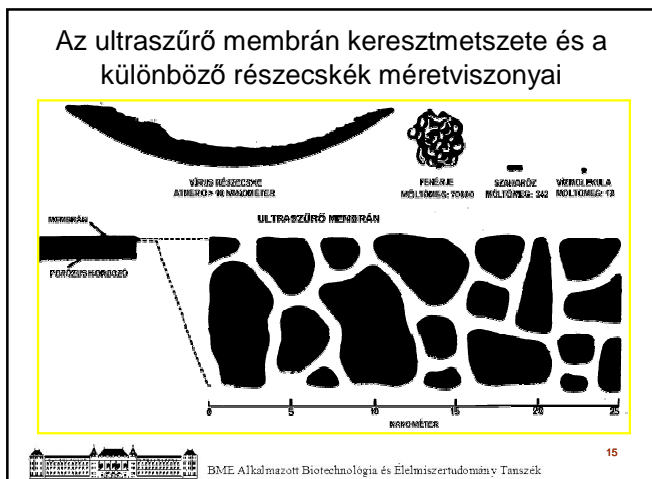
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

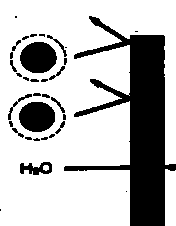
---


---

### 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

---

---

---

---

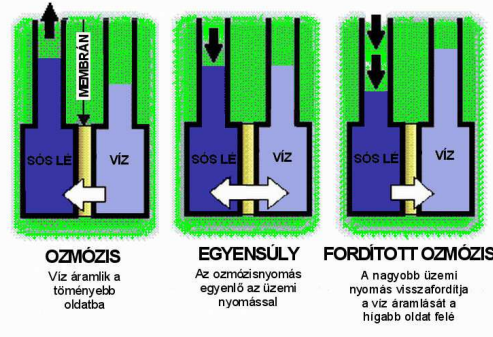
---

---

---

---

### A fordított ozmózis elve



**OZMÓZIS**


Víz áramlik a töményebb oldalra

**EGYENSÚLY**

Az ozmózi 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

---

---

---

---

---

---

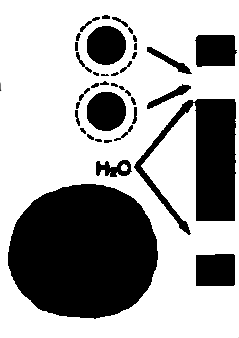
---

---

### Membránműveletek jellemzése

**Ultraszűrés (UF)**

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



19

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

---

---

---

---

---

---

---

---

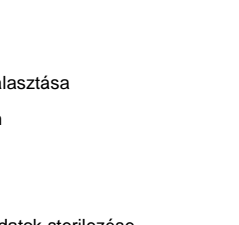
---

---

### Membránműveletek jellemzése

**Mikroszűrés**

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



20

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

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

21

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Az elméleti koncentrációprofil

A diffundáló oldott anyag árama:

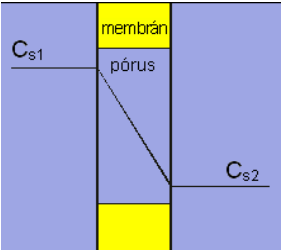
$$J_i = \frac{D}{L}(c_{m1} - c_{m2}) = \frac{DK}{L}(c_{s1} - c_{s2}) = P_m \Delta c_s$$


D – pórusátmérő

L – pórus hossza

K – „megosztási hányados”

$P_m$  – permeabilitás





BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

22

---

---

---

---

---

---

---

---

---


---

### A membrános elválasztások elmélete

Nyomáskülönbőség 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

Ozmózisnyomás-különbőség hatására létrejövő komponens áram

Van't Hoff törvény:  $\pi = RT \sum c_i$

Eredő szűretáram:  $J_v = L_p(\Delta p - \Delta \pi)$

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

Koncentrációs polarizáció

26

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

---

---

---

---

---

---

---

---

### 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

The diagram illustrates gel polarization. On the left, 'kényszeráramlás' (forced flow) is shown with three upward arrows. The bulk concentration is  $c_{bulk}$ . A boundary layer of thickness  $d$  is shown on the left side, labeled 'RETENTÁT OLDAL'. Inside the boundary layer, concentration  $c_{gél}$  is indicated. The membrane is labeled 'gél' and 'PERMEÁT OLDAL' on the right. Fluxes are shown as  $J_c$  (convection) and  $J_v$  (diffusion) moving from left to right.

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék 28

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Eltérések az elméleti koncentrációprofiltól

A határretegben: 
$$J_v = K \ln \frac{c_{gélésedési}}{c_{bulk}}$$

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

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék 29

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### A technológiai paraméterek hatása

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

The diagram shows a membrane process. Feed ('Betáplálás') enters from the left at pressure  $p_1$ . Permeate ('Permeát') exits from the bottom at pressure  $p_3$ . Retentate ('Retentát') exits from the right at pressure  $p_2$ . The membrane is labeled 'membrán'.

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék 30

---

---

---

---

---

---

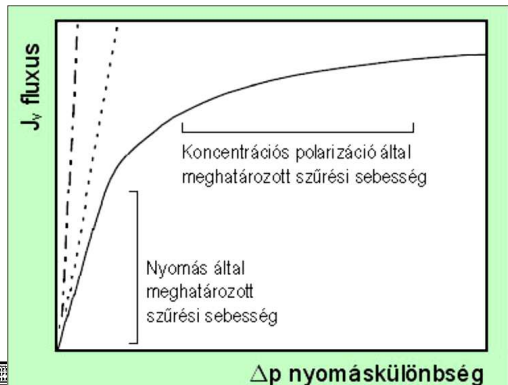
---

---

---

---

### 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 melegevése.

A turbulencia jellemezhető: Re szám  
P/V  
nyírósebesség

32

---

---

---

---

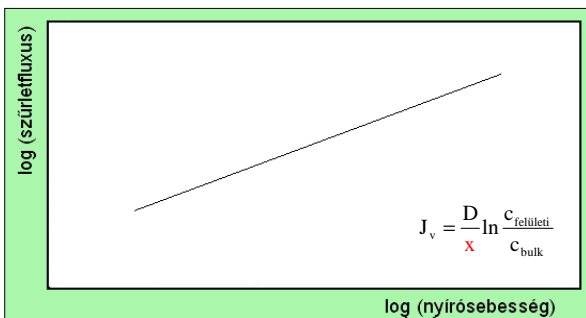
---

---

---

---

### A permeát fluxus és a nyírósebesség összefüggése



33

---

---

---

---

---

---

---

---

### 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

---

---

---

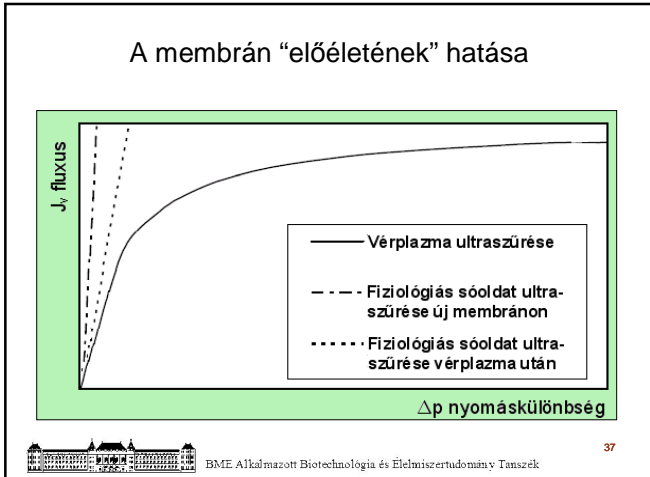
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

### A technológiai paraméterek hatása

Hőmérséklet

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

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

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.




---

---

---

---

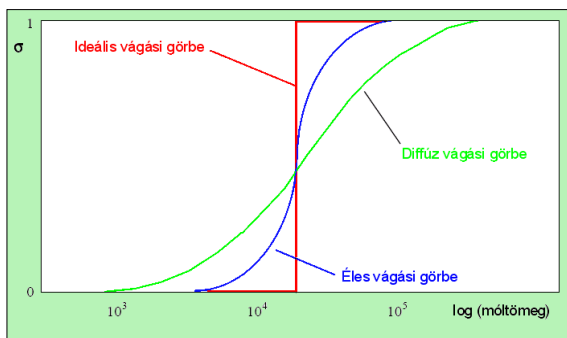
---

---

---

---

### Vágási görbék




---

---

---

---

---

---

---

---

### A membránszűrés anyagmérlegei

– permeabilitás ( $L_p$ ) vagy vízáteresztés: 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: szűrlet = permeátum ( $V_p ; c_p$ )
- visszatartott anyag: koncentrátum = retentát ( $V_r ; c_r$ )




---

---

---

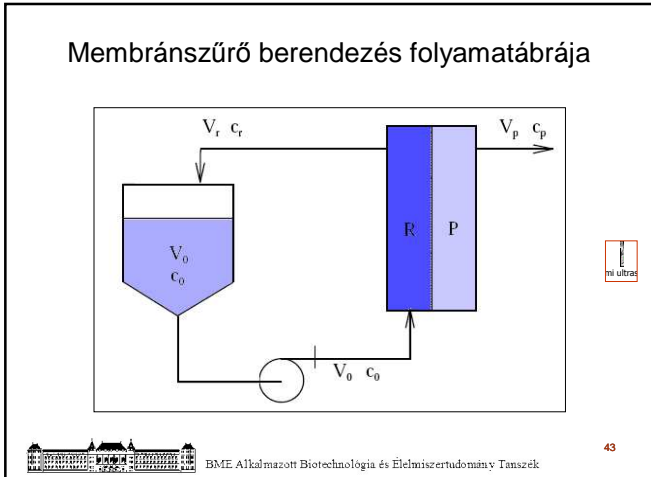
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

### 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

---

---

---

---

---

---

---

---

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

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

45

---

---

---

---

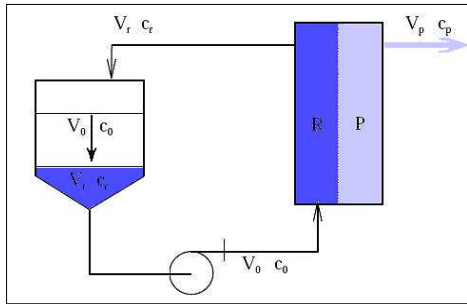
---

---

---

---

### Membrános koncentráls folyamatábrája



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

46

---

---

---

---

---

---

---

---

### 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:

$$V_0 = V_R \quad V_P = V_{viz}$$




---

---

---

---

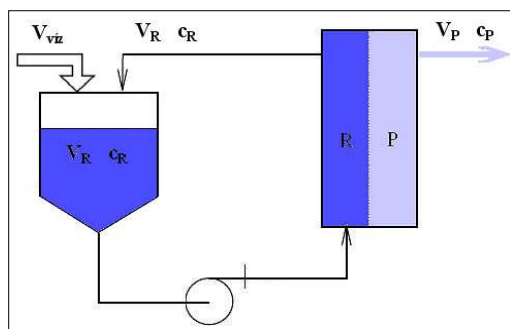
---

---

---

---

### 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:

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




---

---

---

---

---

---

---

---

## A membránszűrés anyagmérlegei

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

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

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

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



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

52

---

---

---

---

---

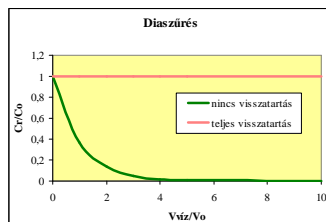
---

---

---

## 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



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

53

---

---

---

---

---

---

---

---

## A diaszűrés anyagmérlegei

Elválasztás, tisztítás diaszűréssel

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



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:

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

$J_v = K_1 - K_2 \ln CF$



55 BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

---

---

---

---

---

---

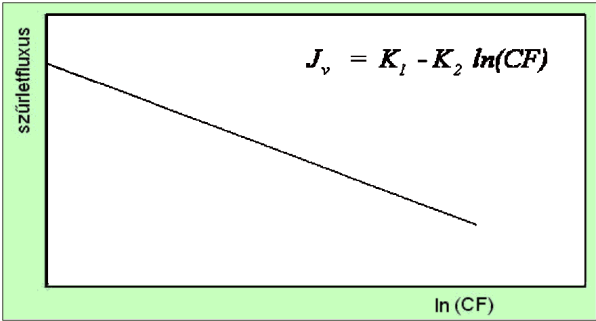
---

---


---

---

### Az ultraszűrés munkavonala



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



56 BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

---

---

---

---

---

---

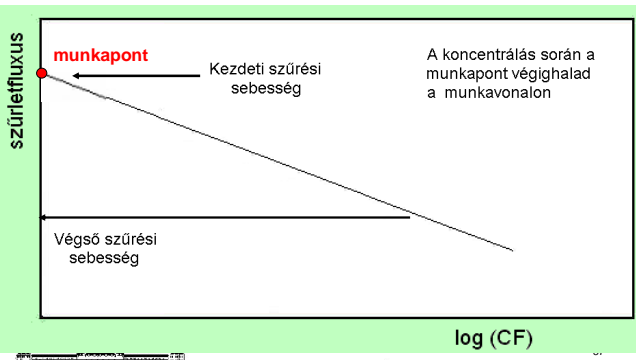
---

---


---

---

### A membránszűrés munkavonala



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



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




---

---

---

---

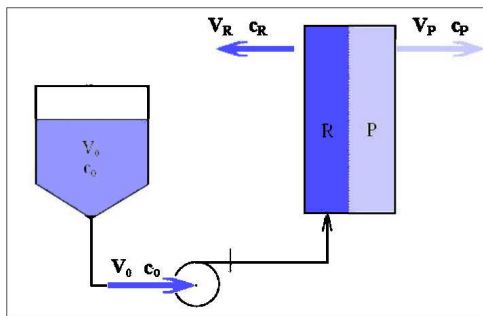
---

---

---

---

### A folyamatos membránszűrés folyamatábrája




---

---

---

---

---

---

---

---

### A membránszűrés anyagmérlegei

A koncentrációs faktor értelmezése megváltozik:

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

Folyamatos működés → állandósult állapot →  
 a paraméterek az idővel alig változnak → csak a membrán "öre-  
 gedése" miatt

Állandó retentát oldali koncentráció → állandó fluxus →  
 a munkapont nem vándorol → a berendezés állandóan a  
 legnagyobb fluxus értéken működik




---

---

---

---

---

---

---

---

### A többlépcsős folyamatos membránszűrés folyamatábrája

$$CF_1 = \sqrt[3]{CF_{összes}}$$

61

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Teljes és szűrt fermentlé membránszűrésének összehasonlítása

ln(konzentrációs 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

62

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### A membránok jellemzői

**Membránok csoportosítása**  
Szerkezet szerint: izotróp vagy anizotróp

63

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## A membránok jellemzői

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

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

A **folyadékmembránok** nem elegyedő folyadék réteget képeznek, amely szelektíven engedi át a különböző komponenseket  $\rightarrow$  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.



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

65

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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 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

---

---

---

---

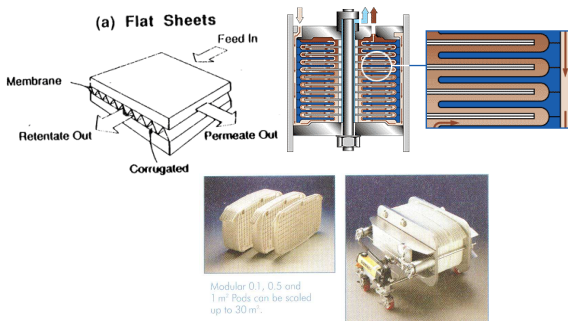
---

---

---

---

### Lapmembrán modulok



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

69

---

---

---

---

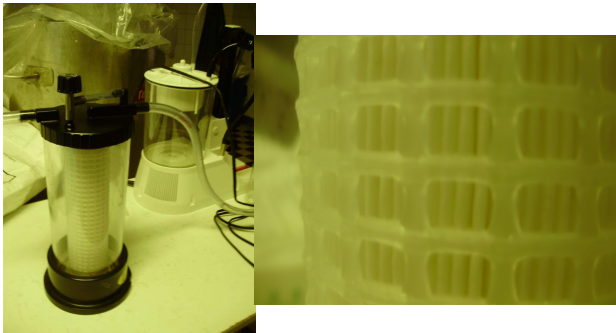
---

---

---

---

### Lapmembrán modulok



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

70

---

---

---

---

---

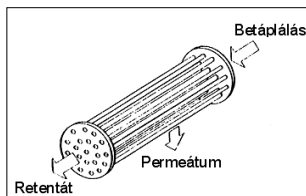
---

---

---

### Csőmembrán modulok

- cső formájú membránok (turbulens áramlás is lehet)
- **csőmembránok** (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

---

---

---

---

---

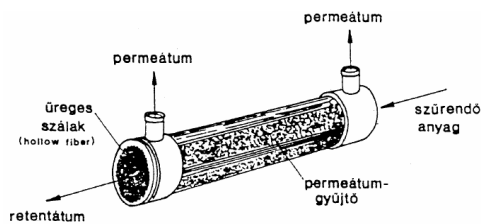
---

---

---

### Membránmodulok

- **üregesszál (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



73

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

---

---

---

---

---

---

---

---

### Membránmodulok

- **mikrokapillaris membránok** belméret 5-20  $\mu\text{m}$ , több millió kapillaris egy modulban, nagy nyomásesés, kis áramlási sebesség

74

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

---

---

---

---

---

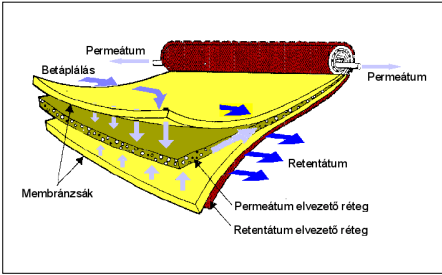
---

---

---

### Membránmodulok

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



75

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

---

---

---

---

---

---

---

---

### Ipari membrászűrő telep




76

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

---

---

---

---

---

---

---

---

### Szervetlen (kerámia, fém) modulok

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




77

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

---

---

---

---

---

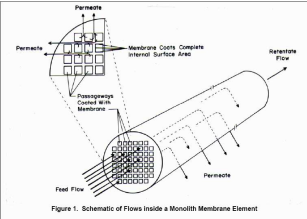
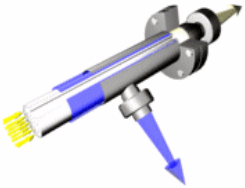
---

---

---

### Szinterelt membránok

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

78

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

---

---

---

---

---

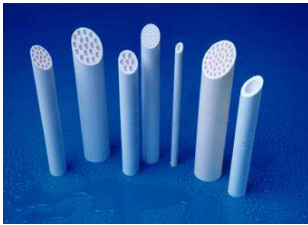
---

---

---

### 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

---

---

---

---

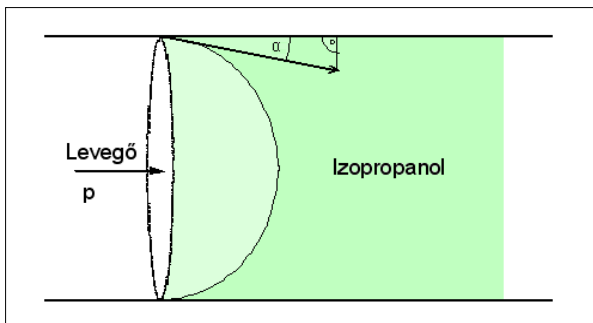
---

---

---

---

### 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.

---

---

---

---

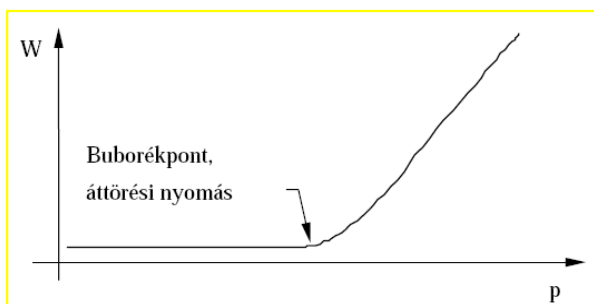
---

---

---

---

### A buborékpont meghatározás térfogatáram-görbéje




---

---

---

---

---

---

---

---