
PÓRUSOS ANYAGOK: PÓRUSOS MEMBRÁNOK

Dr. Cséfalvay Edit
csefalvay@mail.bme.hu

EMLÉKEZTETŐ

- Magára hagyott rendszer: egyensúlyi állapotra törekszik
- Extenzív mennyiség konduktív áramlását az adott extenzívhez tartozó intenzív mennyiség inhomogenitása hozza létre.
- Az áramlás „célja” éppen az inhomogenitások megszüntetése.
- fizikai mennyiségek térbeli inhomogenitását pl. a szintfelületre merőleges gradiens fejezi ki. (áramsűrűség)
- Kontrollált rendszernél mi határozzuk meg a gradienst.

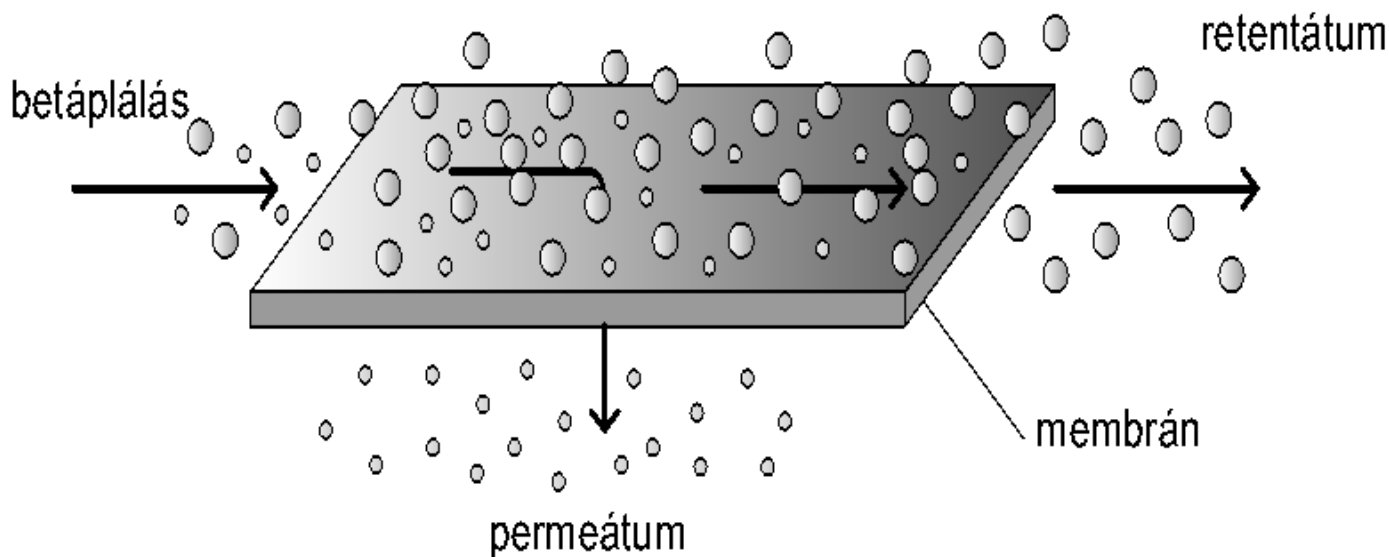


EMLÉKEZTETŐ

- Kontrollált rendszereknél az egyensúllyal ellentétes folyamat iránya
- A kényszeráram gradiense mindig $>$ természetes gradiens
- Gradiens általánosságban: kémiai potenciálkülönbség (domináló összetevő esetén nyomás- vagy koncentráció gradiensről beszélünk)

MEMBRÁN MŰVELETEK

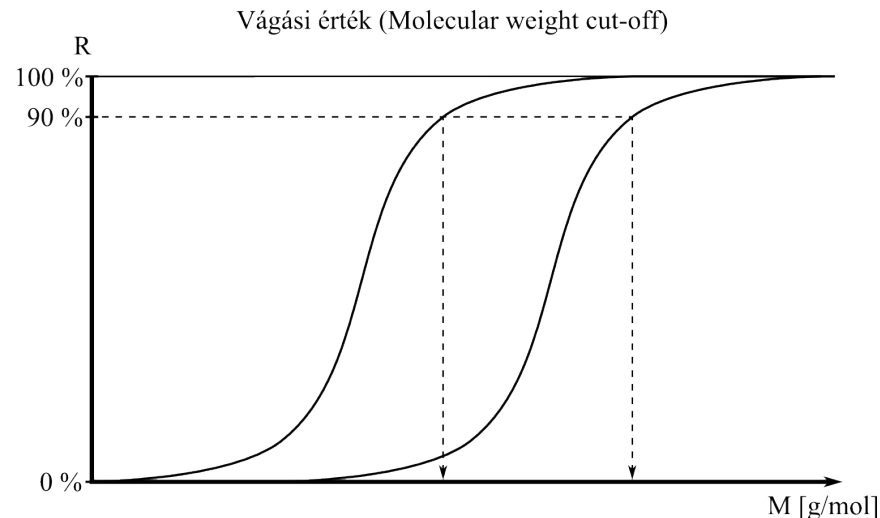
- Membrán (latin), jelentése: hártya, héj
- **Permszelektív** gát két fázis között
- Permeát: membránon átáramlott komponensek összessége
- Retentát: visszamaradt komponensek összessége



Membránszeparáció sematikus rajza (keresztáramú szűrés)

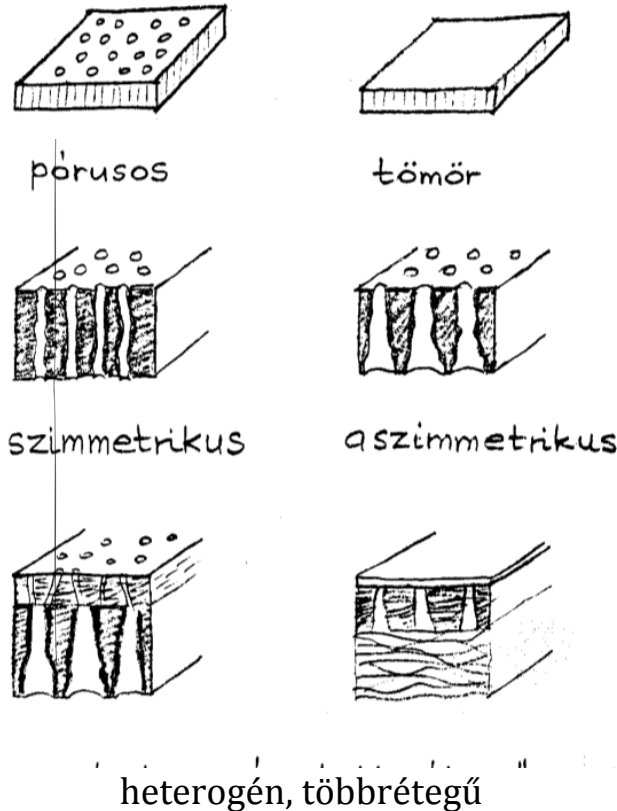
MEMBRÁN MŰVELETEK KAPCSOLATOS ALAPFOGALMAK

- **Térfogati fluxus:**
$$J_V = \frac{1}{A} \cdot \frac{dV}{dt} \quad \left[\frac{l}{m^2 \cdot h} \right]$$
- **Visszatartás, vagy retenció:** adott komponensre vonatkozóan a kiindulási oldat hány %-a maradt vissza a retentátban:
$$R = \frac{c_F - c_R}{c_F} (\cdot 100\%) = \left(1 - \frac{c_P}{c_F} \right) \cdot 100\%$$
 ahol c_p a permeátum konc. (mol/m^3),
 c_f a betáplálás konc. (mol/m^3)
- **Vágási érték (Molecular Weight Cut-Off):** jelenti azt a molekulatömeget, amely súlyú molekuláknak 90%-át a membrán visszatartja.



A MEMBRÁNOK CSOPORTOSÍTÁSA SZERKEZET SZERINT

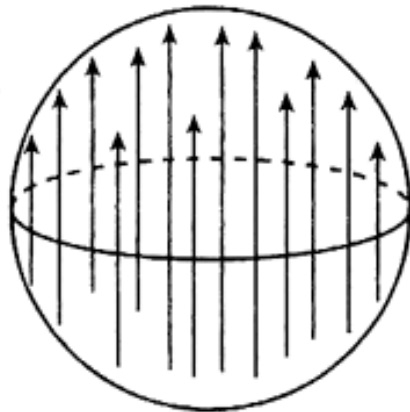
- **Pórusos**
(pórusméret alapján történik az elválasztás)



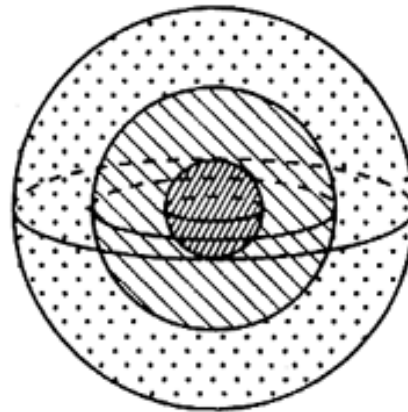
- Anizotróp = aszimmetrikus pórusos
- Izotróp = szimmetrikus pórusos
- Kompozit = pórusos és pórusmentes réteg különböző anyagból

- **Pórusmentes**
(oldhatósági vagy diffúzitási különbségen alapul az elválasztás)
- **Pórusos**
- **Aktív réteg**
pórusmentes
(0,1-0,5 μm)
- **Támasztóréteg**
pórusos (50-150 μm)

IZOTRÓP ÉS HOMOGENY JELLEG SZEMLÉLTETÉSE

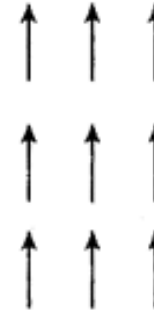


Homogeneous
Not isotropic

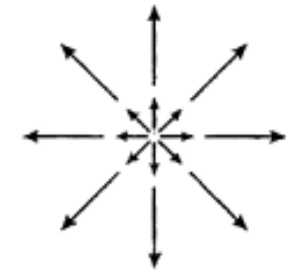


Isotropic
Not homogeneous

(a)



Homogeneous
Not isotropic



Isotropic
Not homogeneous

(b)

Figure 1.5 Illustrations of how homogeneity and isotropy are not equivalent in (a) three dimensions and (b) two dimensions. In the first example of each, a unique direction is picked out but translation invariance is maintained. In the second example of each, all directions are the same (rotation invariance) but a radial gradient exists.

MEMBRÁNSZEPARÁCIÓ HAJTÓEREJE, A MŰVELETEK CSOPORTOSÍTÁSA 1.

- Hajtóerő: p , T , c , elektromos potenciál, összességében a μ különbség

MEMBRÁNSZŰRÉS

Műveletek	Membrán típusa, pórusmérete (tájékoztató értékek)	Hajtóerő (<i>Nyomás különbség és méret különbség</i>)	Kiszűrhető részecskék (mérete) (tájékoztató értékek)
Mikroszűrés MF	mikropórusos 0,1-10μm = = 100-1000nm	Transzmembrán nyomáskülönbség 10-500 kPa	Keményítő, pigmentek baktériumok, élesztőgombák, (100 000-10 ⁶ Da)
Ultraszűrés UF	mikropórusos 0,05-0,5 μm = = 5-500nm	Transzmembrán nyomáskülönbség 0,1-1 MPa	Makromolekulák, kolloidok, vírusok, proteinek (1 000-100 000 Da)
Nanoszűrés NF	bőrtípusú 0,001-0,01μm = = 1-10 nm	Transzmembrán nyomáskülönbség 0,6-4 MPa	Nagyobb molekulák, cukrok, kétértékű ionok (100-1 000 Da)
Fordított ozmózis v. Reverz ozmózis RO	Bőrtípusú: nincs pórusméret	Transzmembrán nyomáskülönbség 2-10 MPa	Egyértékű ionok, (tengervízből ivóvíz) (10-100 Da)



MEMBRÁNSZEPARÁCIÓ HAJTÓEREJE, A MŰVELETEK CSOPORTOSÍTÁSA 2.

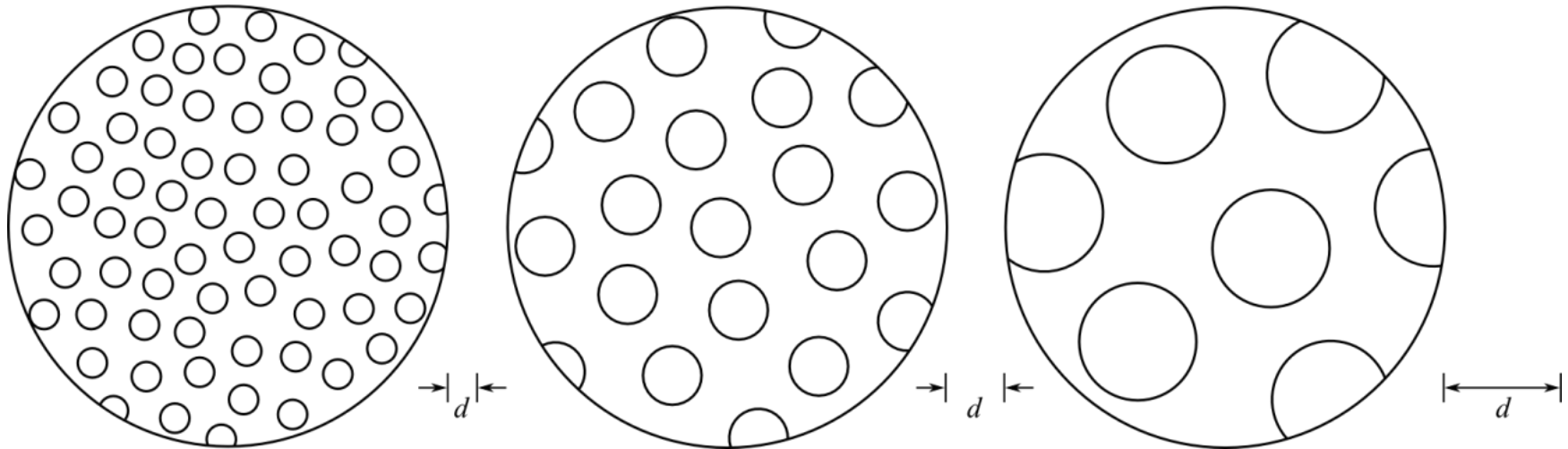
Műveletek	Membrán típusa, pólusmérete (tájékoztató értékek)	Hajtóerő	Kiszűrhető részecskék (mérete) (tájékoztató értékek)
Dialízis	mikropórusos 0,01-0,1 μm	koncentráció gradiens	sók és kisméretű molekulák elválasztása makromolekuláktól
Elektrodialízis ED	kation- és anioncserélő membrán	elektromos potenciál gradiens	ionos oldatok sómentesítése
Gőzpermeáció GP	homogén polimer membrán	gőznyomás- és koncentráció gradiens	gőz komponenseinek elválasztása
Gázszeperáció GS	homogén polimer membrán	nyomás- és koncentráció gradiens	gázelegyek elválasztása
Pervaporáció PV	homogén polimer membrán	gőznyomás- és hőmérséklet gradiens	azeotróp elegyek szétválasztása
Membránszűrés MD	hidrofób pórusos membrán	gőznyomás gradiens	vizes oldatok sómentesítése

TÁRGYALT MŰVELETEK

Műveletek	Membrán típusa, pólusmérete (tájékoztató értékek)	Hajtóerő (Nyomás különbség és méret különbség)	Kiszűrhető részecskék (mérete) (tájékoztató értékek)
Mikroszűrés MF	mikropórusos 0,1-10μm = = 100-1000nm	Transzmembrán nyomáskülönbség 10-500 kPa	Keményítő, pigmentek baktériumok, élesztőgombák, (100 000-10 ⁶ Da)
Ultraszűrés UF	mikropórusos 0,05-0,5 μm = = 5-500nm	Transzmembrán nyomáskülönbség 0,1-1 MPa	Makromolekulák, kolloidok, vírusok, proteinek (1 000-100 000 Da)
Membrándesztil áció MD	hidrofób pórusos membrán	gőznyomás gradiens	vizes oldatok sómentesítése

■ Pórusos membránok anyaga:

- Polimer: polikarbonát (PC), polietilén (PE), cellulóz-acetát (CA), cellulóz-nitrát (CN), poliszulfon (PS), polipropilén (PP)
- Kerámia (SiO₂), zeolitok, Cirkónium-oxid (ZrO₂)
- Fém: Alumínium-oxid (Al₂O₃)

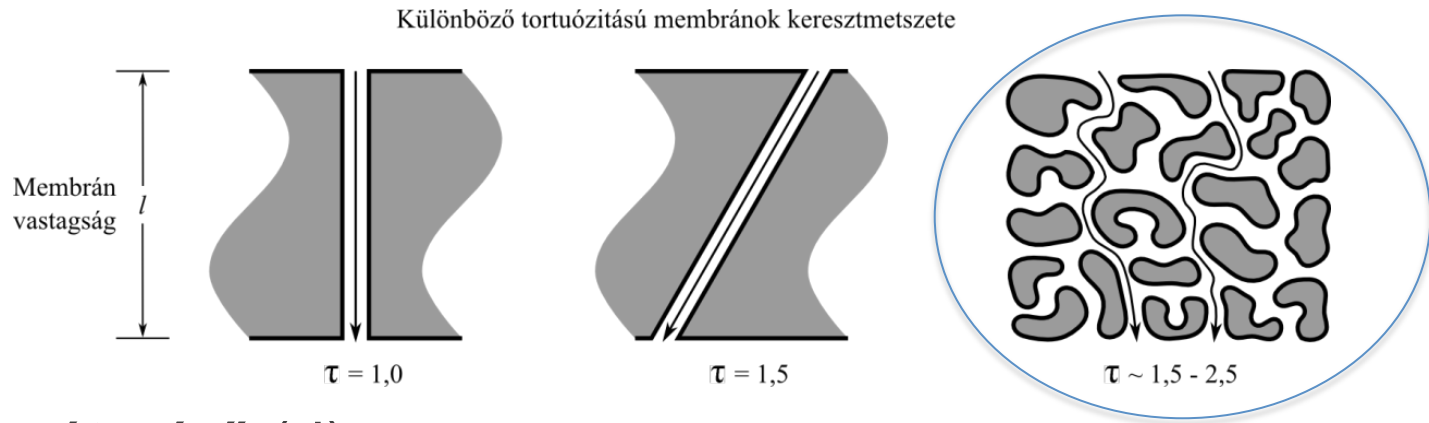


- Porozitás (ϵ)=pórusok térfogata/test térfogata; tipikus porozitási érték: 0,3–0,7.
- Meghatározása:
 - Lemérik a membrán tömegét (anyag sűrűség ismeretében a membrán térfogata számolható)
 - Telítik a pórusokat inert folyadékkal (ne legyen kémiai reakció)
 - Két térfogat aránya egy átlagos porozitást ad meg
 - Porozitás a hely függvényében változhat.

[R.W. Baker, Membrane Technology and Applications, 2004, Wiley]

TORTUOZITÁS, PÓRUSÁTMÉRŐ

- Tortuozitás (τ)=átlagos pórushossz/membrán vastagság



- Pórusátmérő (d):

- Többnyire egy pórusátmérőt adnak meg, de valójában egy tartomány jellemzi a pórusos membránokat.

Egyezmény szerint:

- MF: legnagyobb molekula átmérője, amely áthatol a membránon (ez akár 5-10-szer kisebb is lehet, mint a látszólagos átmérő)
- UF: egy tartomány átlagos értéke

[R.W. Baker, Membrane Technology and Applications, 2004, Wiley]

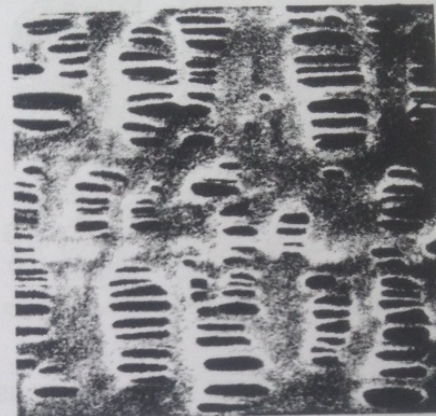
AZONOS RÉSZECSCKE VISSZATARTÁSÚ MIKROPÓRUSOS MEMBRÁNOK SEM KÉPE

Polikarbonát (PC)

(a) Track etch



(b) Expanded film



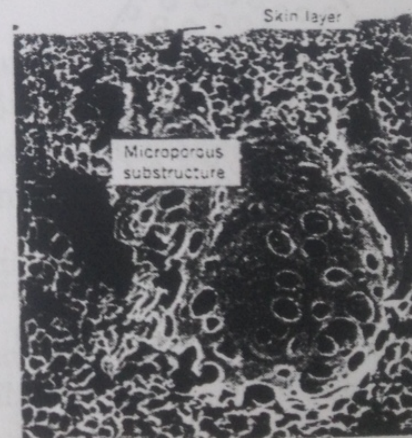
Polietilén (PE)
Húzott film

(c) Phase separation



Cellulóz acetát/
Cellulóz nitrát

(d) Loeb–Sourirajan

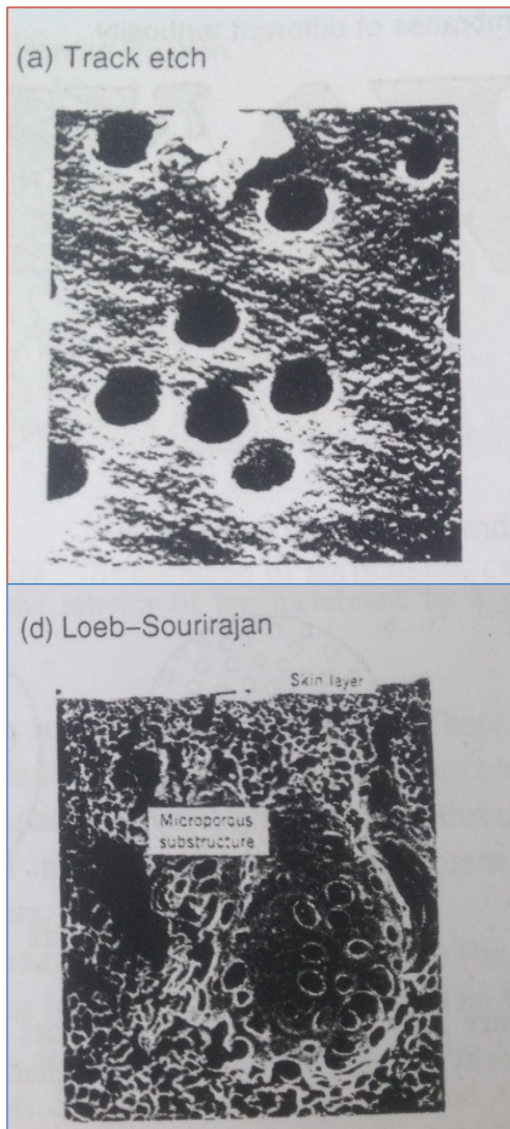


Poliszulfon (PS)
Anizotróp
Loeb–Sourirajan
membrán

[R.W. Baker, Membrane Technology and Applications, 2004, Wiley]



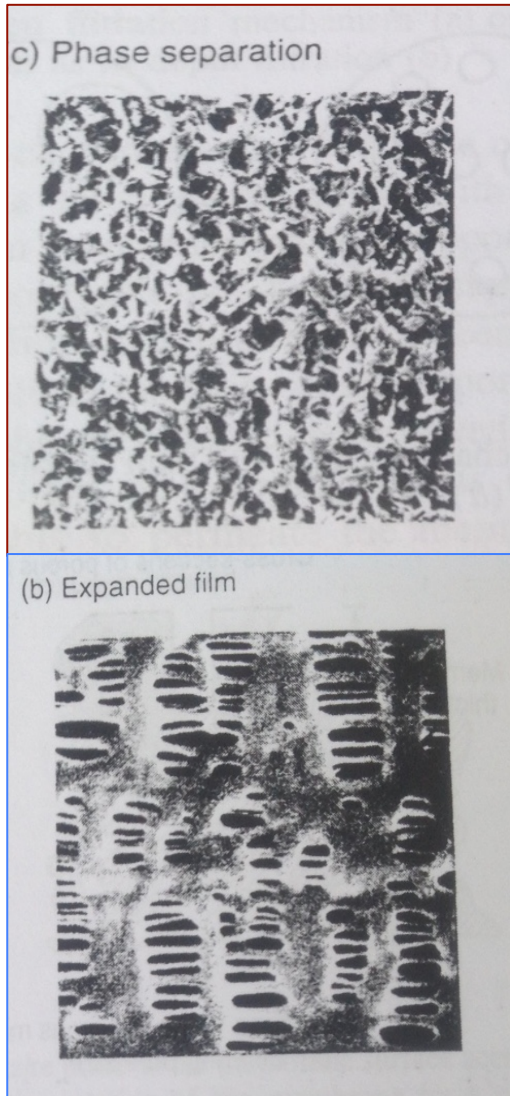
POLIKARBONÁT ÉS POLISZULFON JELLEMZÉSE



- Nukleációs magok visszatartására fejlesztették
- Közös: Molekulaszita elvén működnek
- Asszimmetrikus membrán
- Porozitása: 0.7-0.8
- Membránok támasztórétegeként használják

[R.W. Baker, Membrane Technology and Applications, 2004, Wiley]

CELLULÓZ-ACETÁT/CELLULÓZ NITRÁT ÉS POLIETILÉN JELLEMZÉSE



- Mélységi szűrőként viselkedik
- A membrán pórusaiban adszorpcióval köt meg adott részecskéket
- CA hidrofil: gyakran töltéssel rendelkező csoportok segítik az adszorpciót
- Molekulaszitaként (felületi szűrő) és mélységi szűrőként egyaránt viselkedik

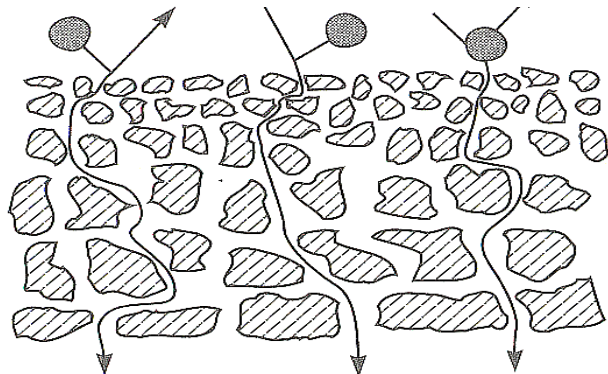
[R.W. Baker, Membrane Technology and Applications, 2004, Wiley]

PERMEÁCIÓ MECHANIZMUSAI PÓRUSOS MEMBRÁNOKON KERESZTÜL

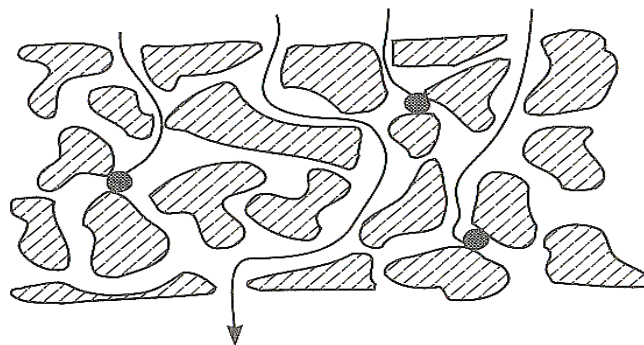


FELÜLETI ÉS MÉLYSÉGI SZŰRÉS

(a) Screen fil **UF**



MF



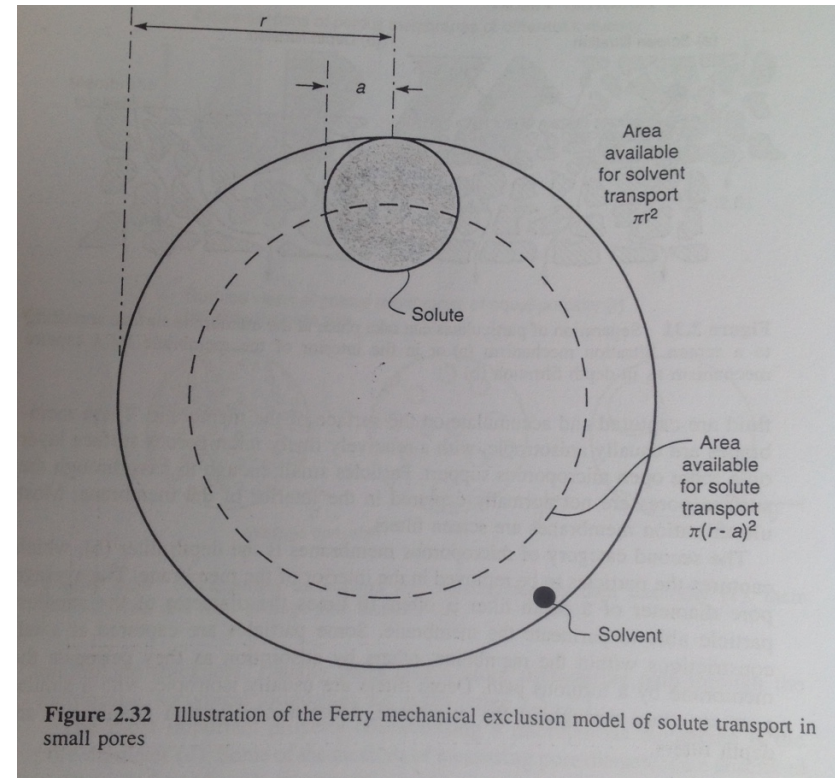
- $d <$ szűrendő részecske
- Anizotróp
- Felül finom pórusok
- Alul nagy méretű nyitott pórusok
- Belül nincs adszorpció

- $d >$ szűrendő részecske
- Átlagos d többnyire 10-szerese a membránon permeálódó legkisebb részecskének
- Membránon belül adszorpció

FELÜLETI SZŰRÉS 1.

Ferry modellje:

- Egyenlő hengeres kapillárisok
- Ezek sugara (r) jóval nagyobb, mint az oldószer sugara \rightarrow oldószer szabad transzportja
- Oldott anyag sugara (a) jelentős hányadot tesz ki a pórus sugarához képest



$$\frac{A}{A_0} = \frac{(r-a)^2}{r^2}$$

Ahol A az oldott anyag, A_0 az oldószer transzportjának szabad keresztmetszete.

FELÜLETI SZŰRÉS 2.

- Renkin modellje: Ferry modell módosítása,
- Ún. Ferry-Renkin modell
- Hengeres pórusokban a fluidum parabolikus sebességprofilt vesz fel.
- Oldott anyag oldószerre vonatkoztatott frakciója

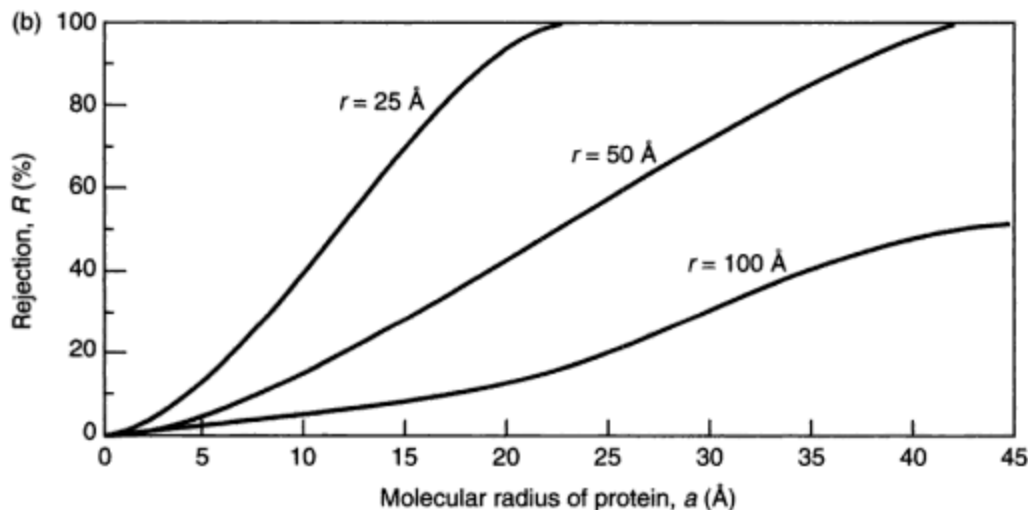
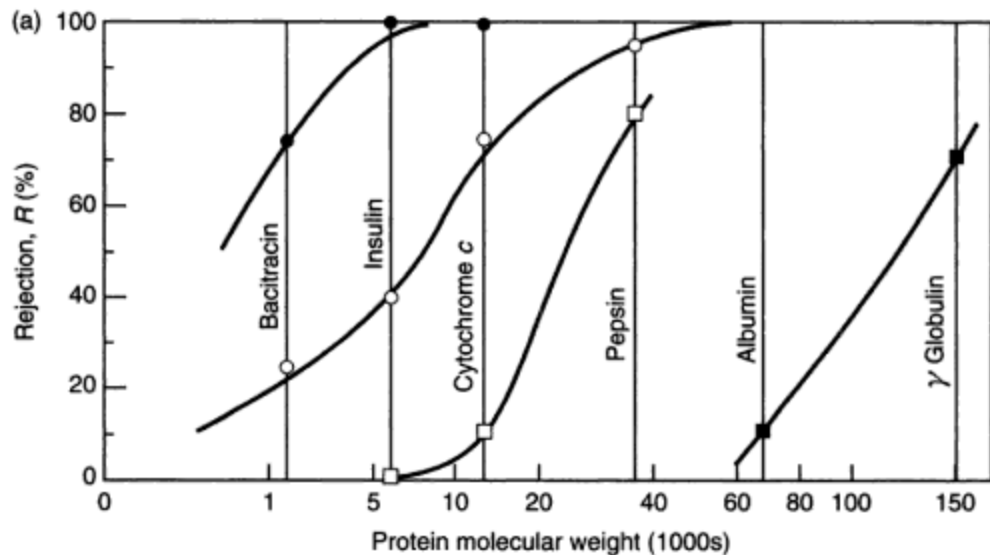
$$\left(\frac{A}{A_0}\right)' = 2 \cdot \left(1 - \frac{a}{r}\right)^2 - \left(1 - \frac{a}{r}\right)^4$$

- Kimutatható: $\left(\frac{A}{A_0}\right)' = \left(\frac{c_l}{c_0}\right)$
 - Ahol c_l az oldott anyag koncentrációja a szűrletben, c_0 pedig a betáplálásban

FERRY-RENKIN MODELL ALKALMAZÁSA

$$R = \left(1 - \frac{c_l}{c_0}\right) \cdot 100\%$$

$$R = \left[1 - 2 \cdot \left(1 - \frac{a}{r}\right)^2 + \left(1 - \frac{a}{r}\right)^4\right] \times 100\%$$



- Visszatartás
- UF membránok *átlagos pórusméretének meghatározása* ismert tömegű globuláris fehérjékkel (közelítő átmérő)
- Összevethető abszcissza
- Egy membránhoz egy görbe tartozik

[R.W. Baker, Membrane Technology and Applications, 2004, Wiley]

UF MEMBRÁNOK KARAKTERIZÁLÁSÁRA HASZNÁLT FEHÉRJÉK JELLEMZŐI

Table 2.5 Marker molecules used to characterize ultrafiltration membranes

Species	Molecular weight ($\times 1000$)	Estimated molecular diameter (\AA)
Sucrose	0.34	11
Raffinose	0.59	13
Vitamin B ₁₂	1.36	17
Bacitracin	1.41	17
Insulin	5.7	27
Cytochrome <i>c</i>	13.4	38
Myoglobin	17	40
α -Chymotrysinogene	25	46
Pepsin	35	50
Ovalbumin	43	56
Bovine albumin	67	64
Aldolase	142	82
γ -Globulin	150	84

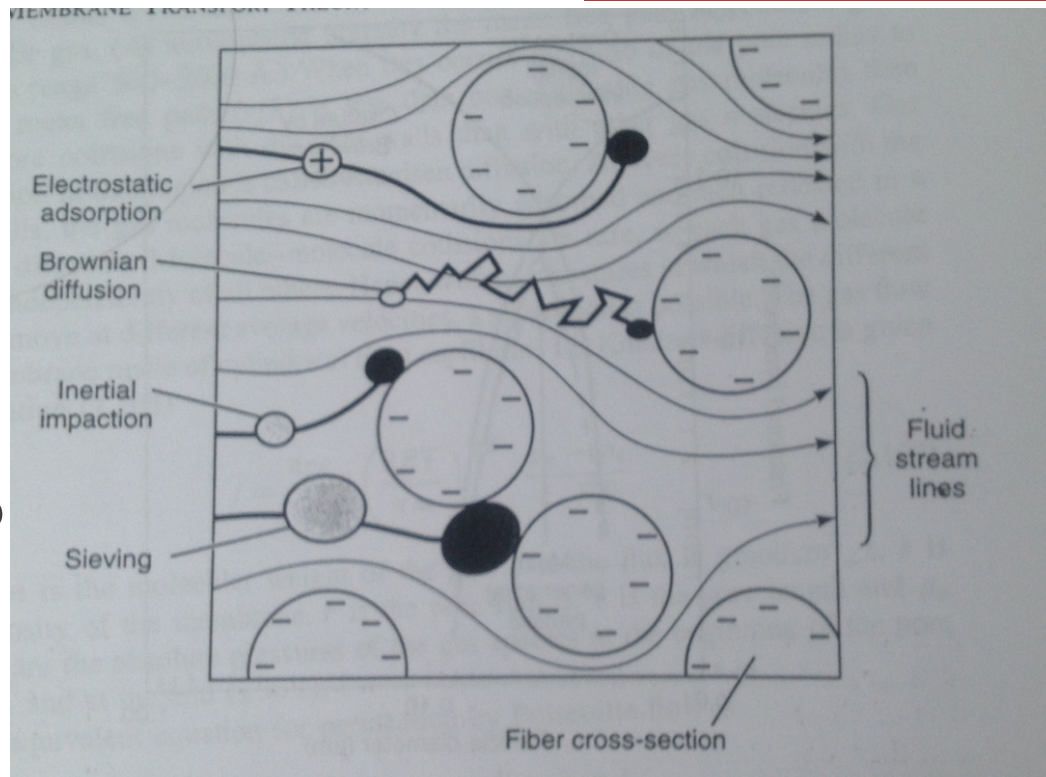
A svéd Angström megfelel 10^{-10} m-nek, vagy 0.1 nm-nek.

[R.W. Baker, Membrane Technology and Applications, 2004, Wiley]



MÉLYSÉGI SZŰRÉS 1.

- Transzport komplexebb
- Tipikusan 4 mechanizmus
 - Tehetetlenségi “becsapódás”
 - Elektrosztatikus adszorpció
 - Brown-mozgás
 - Szita hatás (kevésbé domináns)

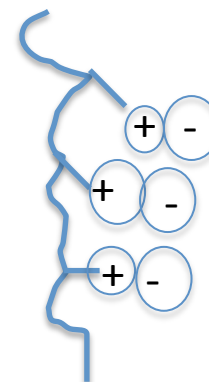


Tehetetlenségi “becsapódás”: folyadék a zegzugos pórusokon átáramlik, a részecskék nem tudják követni, becsapódnak a falba (elveszítik impulzus momentumukat)

- Nagy tortuozitású membránokra jellemző mechanizmus
- Nagy méretű részecskékre jellemző

MÉLYSÉGI SZŪRÉS 2.

- **Brown-diffúzió:** kisebb méretű részecskékre jellemző
- Folyadékáramlással könnyen mozgó részecskék
- Ennek ellenére a saját random Brown mozgásuknak köszönhetően beleütköznek a falba → adszorpció lejátszódik

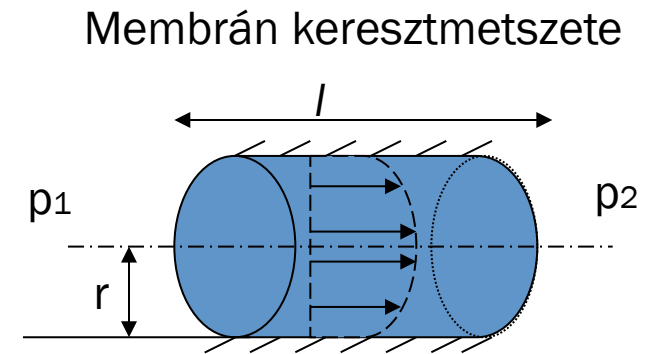


- **Elektrosztatikus adszorpció:**
- Membránok belsejében lévő töltéssel rendelkező csoportoknak ütközik egy töltéssel rendelkező részecske
- Pl. negatív töltéssel rendelkező kolloid részecskék többlet pozitív töltésű csoportokhoz kapcsolódnak

HAGEN-POISEUILLE TRANSZPORT

- Pórusmodell (Hagen-Poiseuille) (pórusok, mint hengerekben történő áramlás, ahol r a pórusátmérő)
- Konvektív áramlás
- Pórusméret $> 0,1\text{mm}$

$$J_V = \frac{TMP}{8\eta l} \cdot r^2 \cdot \varepsilon$$



Ahol

J_V : permeátum fluxus ($\text{m}^3/(\text{m}^2\text{s})$)

TMP: transzmembrán nyomás (Pa)

η : oldószer viszkozitása (Pa.s)

R_m : membrán ellenállás ($1/\text{m}$)

l : pórus hossza (m)

ε : a membrán porozitása m^3/m^3

r : pórus sugara (m)

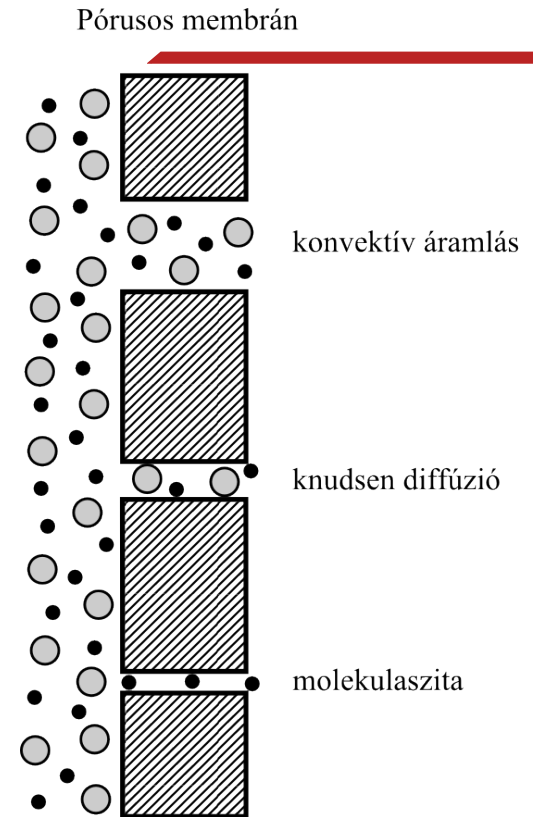
KNUDSEN-DIFFÚZIÓ

- a gázmolekulák szabad úthossza nagyobb, mint a pórusátmérő.
- (A molekulák mozgása függetlennek tekinthető egymástól. ütközés, → adszorbeálódás, és véletlenszerű irányba visszaverődés.)
- Felületi diffúzió: adszorpció a felületen majd diffúzió

- A Knudsen-diffúzió fluxusa leírható

$$J = \frac{4 \cdot r \cdot \varepsilon}{3} \cdot \left(\frac{2 \cdot \mathfrak{R} \cdot T}{\pi \cdot M} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{p_0 - p_l}{l \cdot \mathfrak{R} \cdot T}$$

Ahol r a pórus sugara (m), ε a membrán porozitása (m^3/m^3), \mathfrak{R} gázállandó ($8,314 \text{ J}/(\text{K} \cdot \text{mol})$), T az abszolút hőmérséklet (K), M a gáz molekulasúlya (g/mol), l a pórus hossza (m), p_0 a nyomás a pórus elején (Pa), p_l a nyomás a pórus végén (Pa)



KONDUKTÍV ÁRAMSŰRŰSÉG: FLUXUS

- Konduktív: k_d
- i . komponens diffúziójára a Fick II. törvény érvényes:
- $J_{m,i,kd} = -D \text{ grad } c_i$,
- térfogatáramra a Poiseuille törvény:
- $J_{v,kd} = -\kappa \text{ grad } p$,
- Pórusos membránokra

PÓRUSOS MEMBRÁNOK ALKALMAZÁSI TERÜLETE

■ Élelmiszeripar

- Élesztő szűrése sörgyártásnál: MF
- Sterilizálás: UF
- Tejipari szennyvíz, értékes komponensek koncentrációja: NF
- Gyümölcslevegőszűrés szennyvizéből, íz- és aromakomponensek visszanyerése: UF
- Többnyire más technológiával kombinálva, ún. hibrid műveletként történő alkalmazás

■ Metallurgia, gépgyártás

- Olajos szennyvizek, emulziók szeparálása: MF, UF

■ Papíripar

- Lignoszulfonátok kinyerése: UF

MEMBRÁN MŰVELETEK

ELŐNYEI,

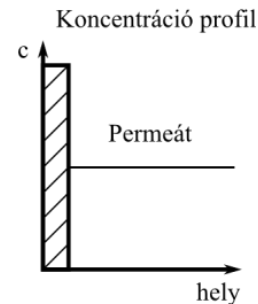
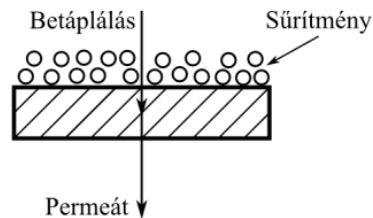
- Folyamatossá tehetők
- Energiaigényük kicsi
- Könnyen kombinálhatók (hibrid eljárások)
- Enyhe körülmények
- Egyszerű méretnövelés
- Variálható
- Az elválasztás nem igényel vegyszer hozzáadását

HÁTRÁNYAI

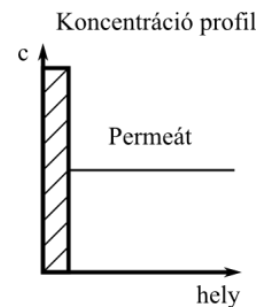
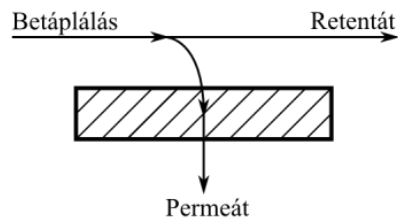
- Eltömődés (fouling)
- Koncentráció-polarizáció
- Rövid élettartam (max. 3 év)
- Szelektivitás \leftrightarrow fluxus
- Méretnövelés lineáris (2X akkora membrán dupla annyiba kerül)

ÁRAMLÁSI IRÁNYOK SZERINTI KATEGORIZÁLÁS

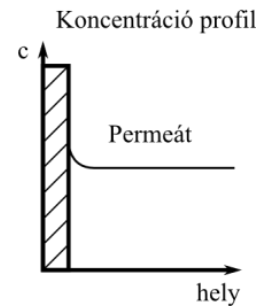
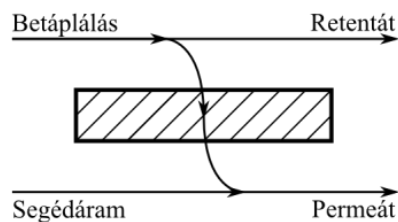
1. Dead-end: membránszűrés



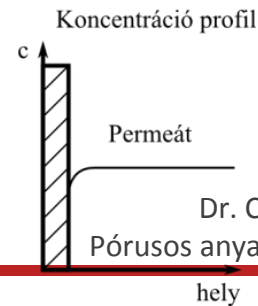
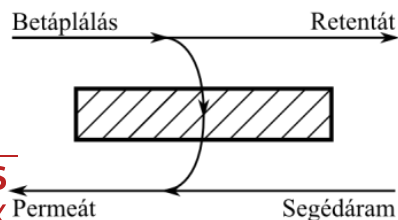
2. Cross-flow: membránszeparáció



3. Co-flow: pervaporáció, gázszeparáció



4. Counter-flow: pervaporáció, gázszeparáció



MIKROSZŰRÉS 1.

- *Pórusos membránok*, pórusméret 0,1-10 μm
- a membrán ellenállása a legkisebb a membránszűrések közül
- a mikroszűrő membránnal a lebegő szennyeződések ill. a mikroorganizmusok közül a baktériumokat és gombákat lehet eltávolítani.
- A kiszűrendő komponensek nem oldott állapotban vannak jelen, hanem **lebegő részecskék**, szuszpenzió vagy emulzió formájában,
- Nyomás: **1-5 bar**.
- A dead-end és a cross-flow szűrési mód is elterjedt,
- egyaránt alkalmazható szakaszos és folyamatos üzemmódban is.
- **előtisztító szerepe** van ultraszűrést, nanoszűrést és fordított ozmózist alkalmazó eljárások előtt.

MIKROSZŰRÉS 2.

- Komponensek elválasztása lehetséges:
 - Szitahatás alapján
 - Mélységi szűréssel
- Fluxus számítása: ellenállás modell vagy pórusmodell alapján
- Mikroszűrés alkalmazása
 - nyersvizek minőségének javítására
 - a lebegő anyagok kiszűrésére
 - a zavarosság megszüntetésére
 - Előtisztításra
- Mikroszűrés a gyakorlatban: élesztő kinyerése/
hulladék víz csökkentése:

<https://www.youtube.com/watch?v=zN5Xo6AGIHY>



ULTRASZŰRÉS 1.

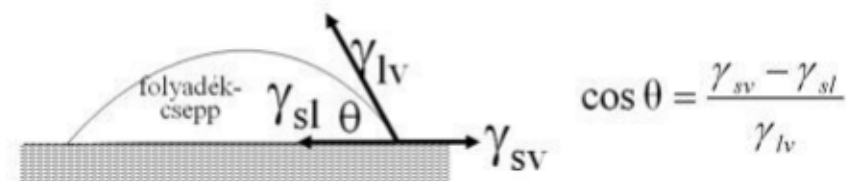
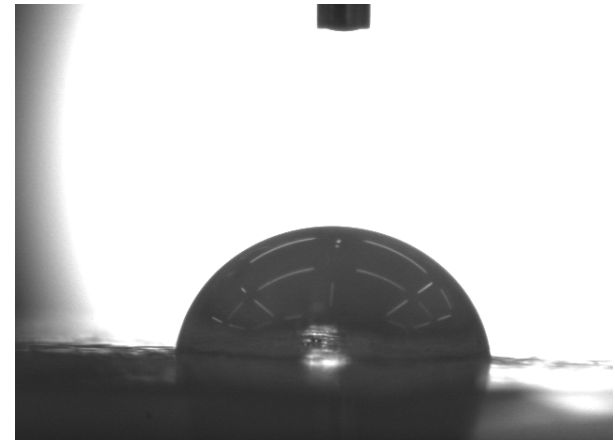
- Az ultraszűrő membrán a szubmikron méretű kolloid részecskéket, mikroorganizmusokat, iszapot és a nagy molekulatömegű vegyületeket, pl. vírusokat és fehérjéket is képes visszatartani.
- A cross-flow szűrési mód elterjedt,
- szükséges nyomáskülönbség 3-10 bar.
- Mind szakaszos, mind folyamatos módban alkalmazzák.
- Pórusos membránok, pórusmérete 0,005 - 0,5 μm , de a membránok jobban jellemezhetők a vágási értékkel.

ULTRASZŰRÉS 2.

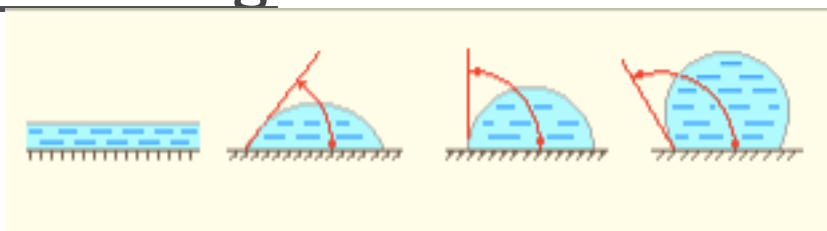
- Az ultraszűrő membránok **vágási értéke** (MWCO, molecular weight cut off) 1-1000 kDa.
- Komponensek elválasztása az ún. **szitahatás** alapján (felületi szűrés)
- Az ultraszűrő membrán pórusain csak a vízmolekulák, sók és kisebb méretű molekulák haladnak át.
- **Ultraszűrés alkalmazása**
 - **felszíni vizekből**: szerves anyagok, peszticidek, íz-, szagvegyületek a
 - **Élelmiszeripari alkalmazásai**:
 - tejfehérje besűrítése
 - almaléből zavarosító komponensek kiszűrése
 - tojásfehérje besűrítése (szárítás előtt)
 - Fermentációs enzimek tisztítása
 - <https://www.youtube.com/watch?v=TipmLDNq3Sw>

HIDROFILITÁS: PEREMSZÖG

- Hidrofil membránok: vizes oldatok szűrésre alkalmazhatók
- Hidrofób membránok: víz-szerves elegyek elválasztására, vagy tengervíz sótalánításra
- Mérése: ún. Peremszög méréssel
- Vízcsepp a membrán felszínére
- Hidrofil pórusos membránokon átmegy a víz
- Hidrofób membránok: a csepp a membránnal szöget zár be



peremszög



Felületmódosítás hatása	HL	HL-mód.
Átlag [°]	26,5	65,1

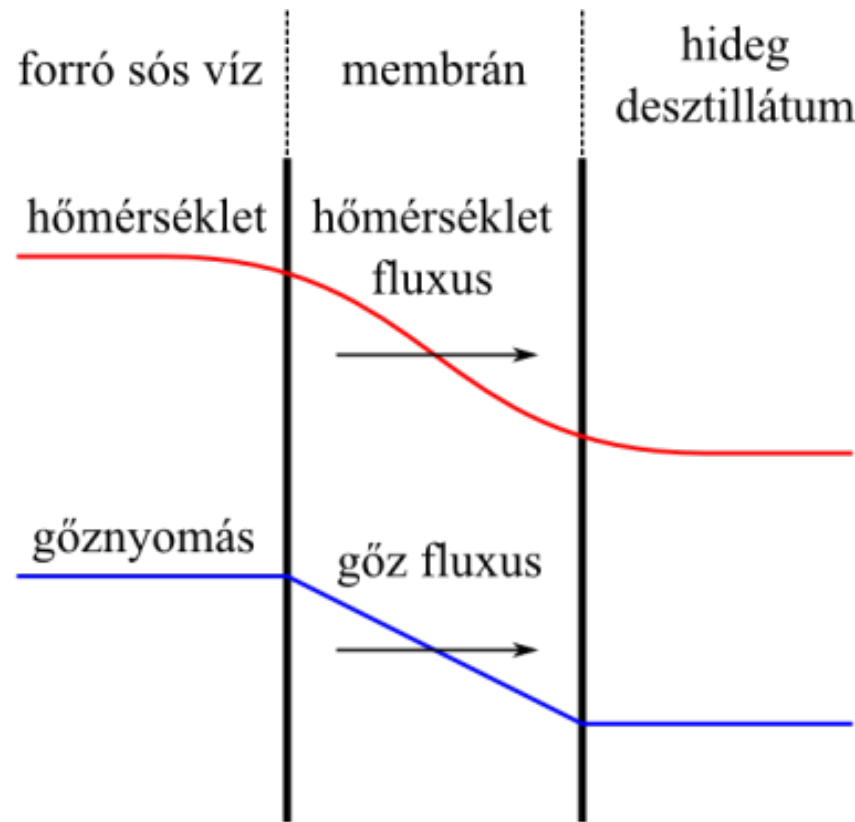
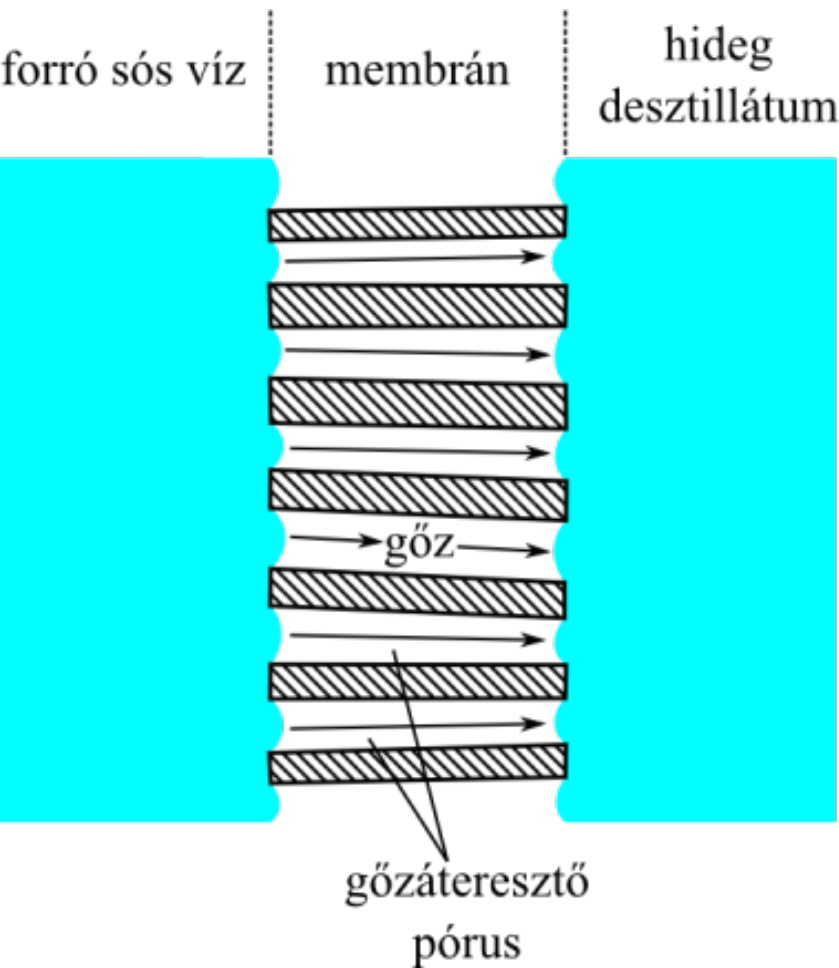
Debreczeni Balázs, diplomamunka, VBK-KKFT, 2014

MEMBRÁNDESZTILLÁCIÓ 1.

- Membránszeparáció + elpárolgztatás kombinációja
- Pórusos hidrofób membránok, relatíve kicsi pórusokkal
- Elsőleges hajtóerő: hőmérséklet különbség → tenzió különbség
- Transzport lépései:
 1. Párolgás a meleg oldalon
 2. Permeáció a membránon keresztül
 3. Kondenzáció a hideg oldalon
- Oldószer (víz) → gőz formájában jut át a membránon

MEMBRÁNDESZTILLÁCIÓ 2.

Komponenstranszport és hőtranszport



MEMBRÁNDESZTILLÁCIÓ 3. (MD)

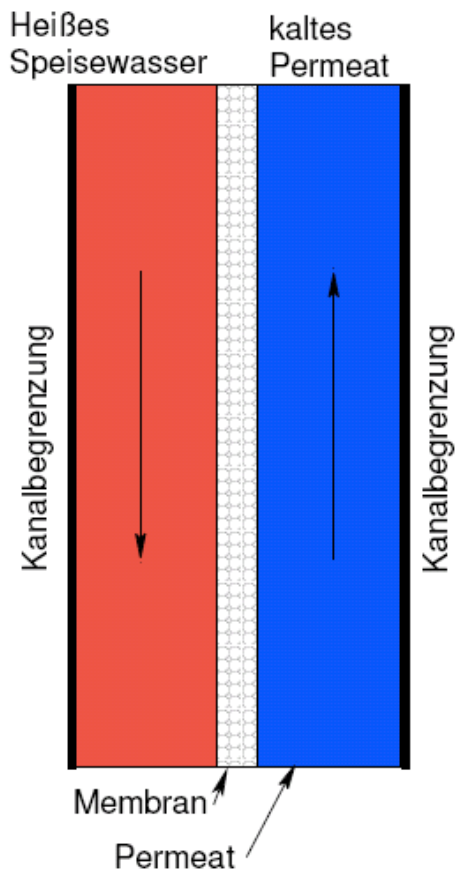
- A gőznyomások különbségének arányában történik meg a komponensek szétválasztása
- Komponensek illékonysága befolyásolja az elválasztást
- Alkalmazása: bepárlás kiváltására, tengervíz sótelenítésre
- Megvalósítása:
 1. Direct contact MD (DCMD)
 2. Air gap MD (AGMD)
 3. Vacuum MD (VCMD)
 4. Sweeping gas MD (SWGMD)
 5. Vacuum multi-effect MD (V-MEMD)

[Joachim Koschikowski: Entwicklung von energieautark arbeitenden Wasserentsalzungsanlagen auf Basis der Membrandestillation Fraunhofer Verlag, 2011, 3839602602]



DIRECT CONTACT MD

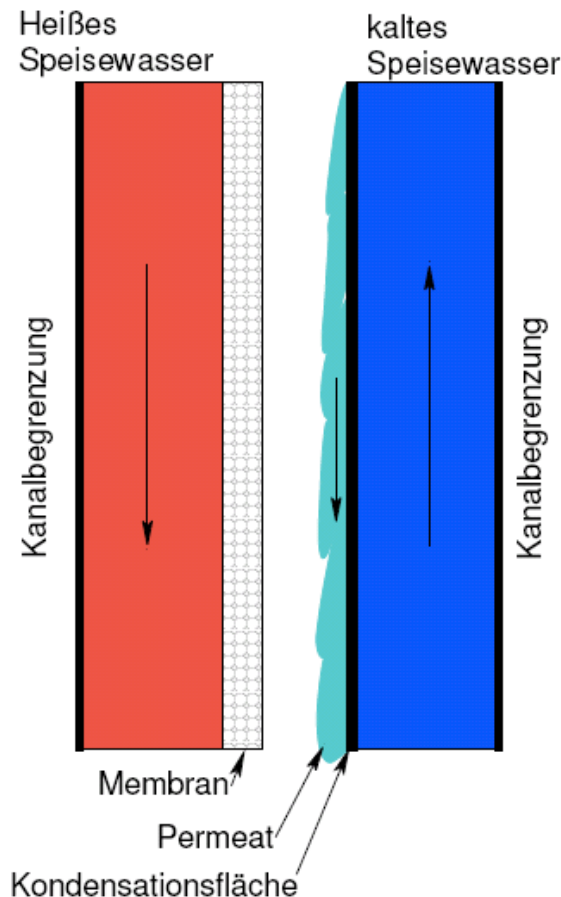
DCMD- Verfahren



Membrán mindkét oldalán folyadék:
a gőz direkt kondenzációja a hideg permeátumba

AIR GAP MD

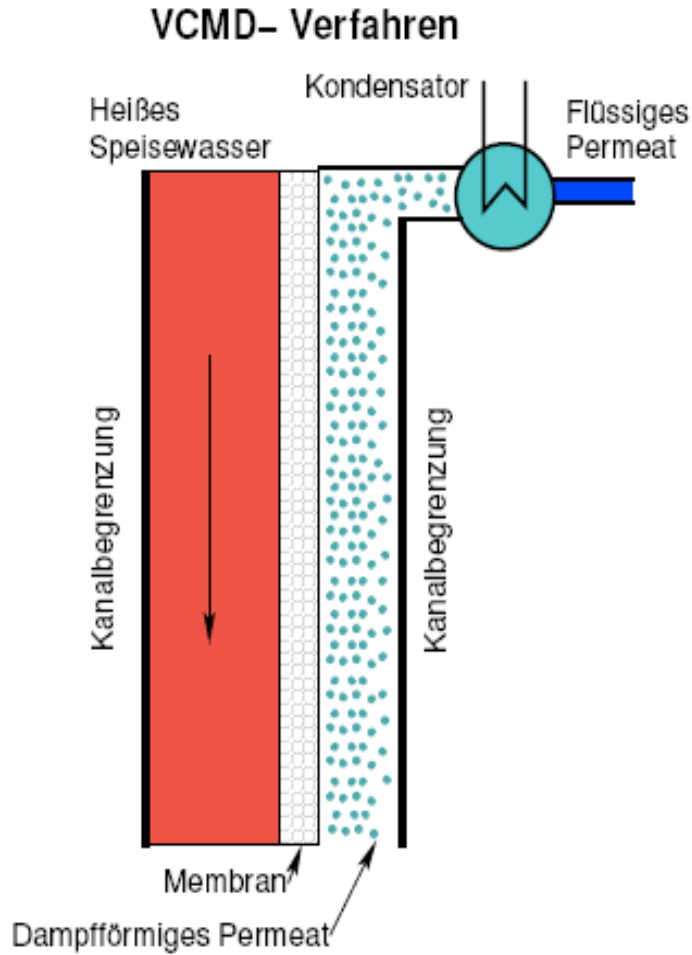
AGMD- Verfahren



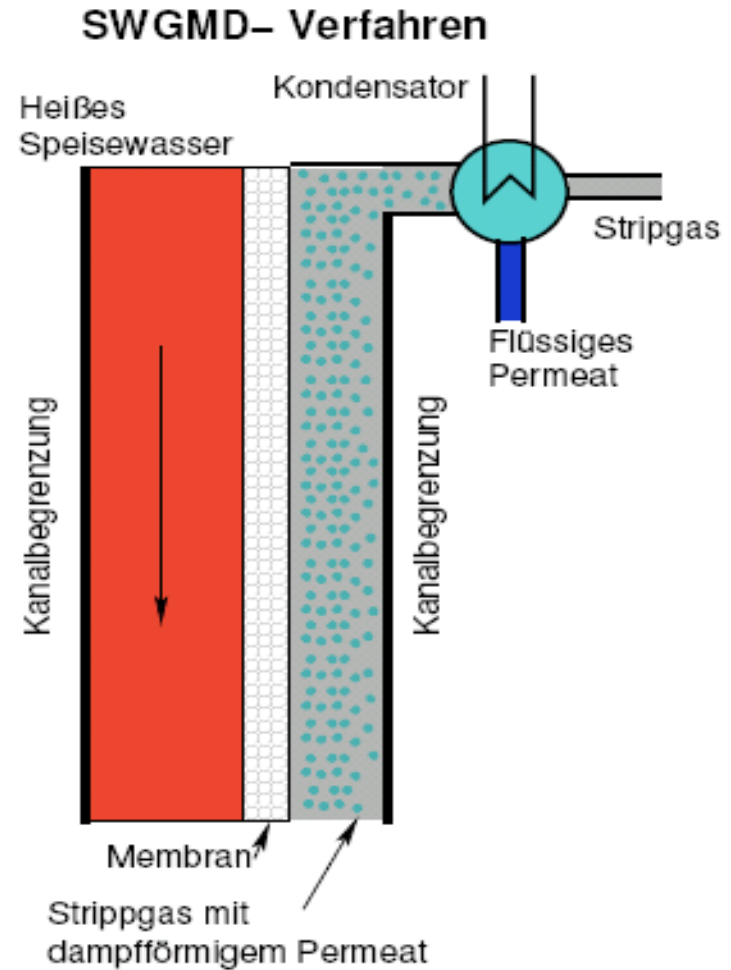
Meleg oldalon folyadék, a membrán túloldalán levegő, a hideg felületen kondenzáció.

Levegő=szigetelő → vezetési hőveszteség csökken

VACCUUM MD



SWEEPING GAS MD



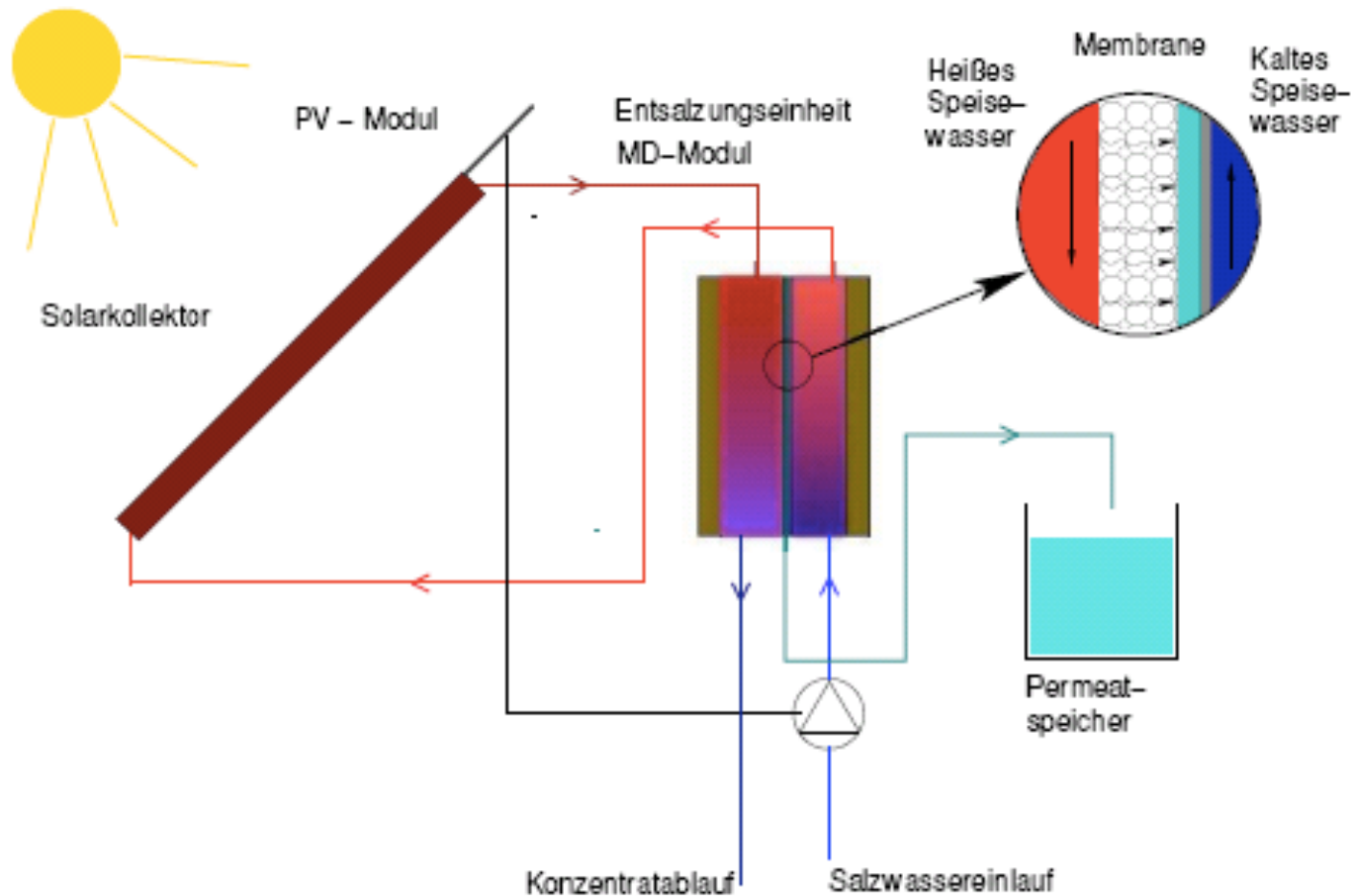
Gőzt a vákuum szállítja el
Modulon kívüli kondenzáció
Előnye: a pórusokat blokkoló gázok is távoznak

Sztrippelés analógja
Kondenzáció modulon kívül

MD MEGVALÓSÍTÁSOK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

	DCMD	AGMD	VCMD	SWGMD
Energiaigény	Meleg oldal fűtése(50-80 °C)	Meleg oldal fűtése (< DCMD)	Vákkumszivattyú üzemeltetése	Szivattyú üzemeltetése
Hőmérséklet különbség igény	30-40 °C	20-30 °C	5-20 °C	5-20 °C
Előny	Kedvezőbb energiaigény bepárláshoz képest	- Levegő réteg szigetel - Kisebb a vezetési hőveszteség	Vízben oldott gázok is permeálódnak	- Vékonyabb membrán (kisebb ellenállás a transzportban)
Hátrány	- Nagy hőveszteség, - Vízen oldott gázok a pórusokat blokkolják	Vízben oldott gázok a pórusokat blokkolják	A nagy energia	- Nagyobb tömegáram (segédgáz miatt) - nagyobb kondenzátor felület igény

NAPENERGIÁVAL MŰKÖDŐ MD

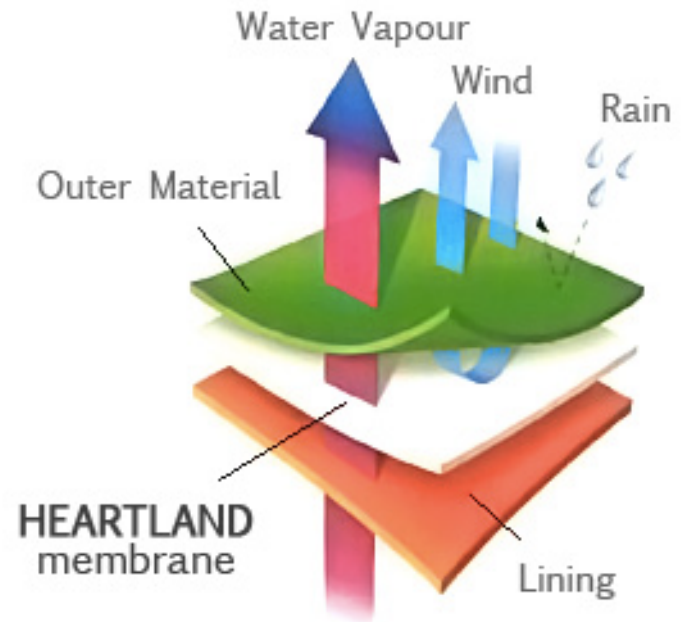


Erőművek hulladékhője vagy geotermikus hő is felhasználható

Több-tesztés bepárló mintájára: <https://www.youtube.com/watch?v=UdJjtsDkYkc>

GYAKORLATI PÉLDA: LÉLEGZŐ ESŐKABÁT

- A lélegző esőkabátok titka: pórusos, hidrofób membrán,
- a Raintex anyagnál lehet például polipropilén vagy polietilén (www.raintex.com), a Gore-tex anyagnál (www.gore-tex.com) politetrafluor-etilén (PTFE)
- A membránt szövetbe ágyazzák (mechanikai hatások elleni védelem)
- Folyadék vízzel szemben víztaszító (leperregnek róla az esőcseppek),
- A testfelületen keletkező párat (gőz halmazállapot) áttereszt.



KÖRNYEZETVÉDELEM, ANYAG VISSZAFORGATÁS: HULLADÉKBÓL TERMÉK



http://www.heartlandtextile.com/style/frame/templates15/news_detail.asp?lang=2&customer_id=2507&content_set=color_6&name_id=119007&Directory_ID=0&id=26096

ORIENTÁLÓ KÉRDÉSEK 1.

1. Alapfogalmak: mi a fluxus, visszatartás és MWC0?
2. Alapfogalmak: mi a porozitás és tortuozitás?
3. Mit jelent a pórusátmérő és hogyan határozható meg?
4. Mit ír le a felületi szűrés Ferry modellje?
5. Hogyan alkalmazható a Ferry-Benkin modell ultraszűrő membránok átlagos pórusméretének meghatározására?
6. Melyek a mélységi szűrés transzportmechanizmusai?
7. Knudsen-diffúzió és egyenlete?



ORIENTÁLÓ KÉRDÉSEK 2.

8. Mit ír le Hagen-Poiseuille egyenlet?
9. Fick II. Törvény?
10. Ultraszűrés jellemzői (alkalmazott nyomás, membrán jellemző, alkalmazási terület)?
11. Hogyan mérjük a membránok hidrofilitását?
12. Membrándeztilláció megvalósítási fajtái
13. Membránműveletek előnyei és hátrányai