

Membránszeparáció

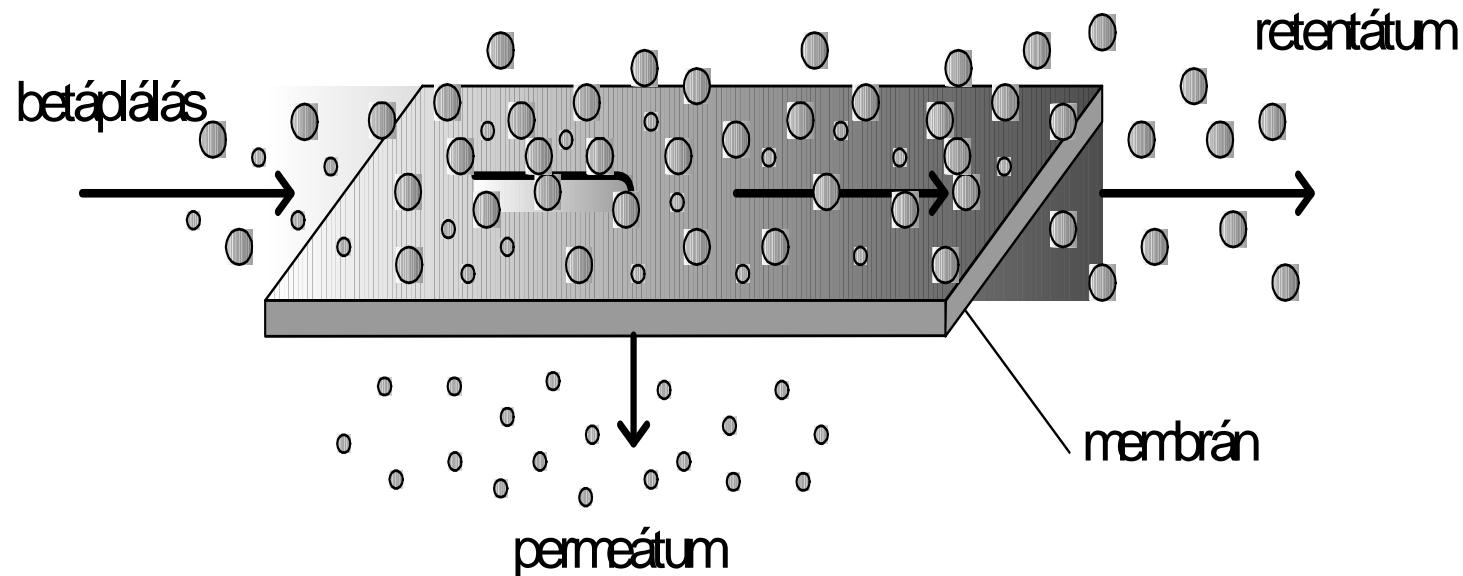
Cséfalvay Edit

A membrán

- Membrán: **szemipermeábilis** hártya
- Szelektív réteg, csak adott komponensek számára átjárható
- Természetes membránok: növényi, állati eredetű féligáteresztő hártyák
- Mesterséges membránok 1918, **Zsigmondy Richárd**
- A vegyiparban a membrán technológiai fogalom. Olyan technológiai válaszfalat jelöl, amely szelektív áteresztő képességénél fogva a feldolgozandó anyagok alkotórészeinek szétválasztását többnyire kémiai átalakulás nélkül teszi lehetővé. [1]
- Membránok: egyre szélesebb körben, szeparációs problémák, élelmiszeripar, egészségügy, vegyipar, szennyvíztisztítás

Membránműveletek

- Membrán (latin), jelentése: hártya, héj
- **Permszelektív** gát két fázis között



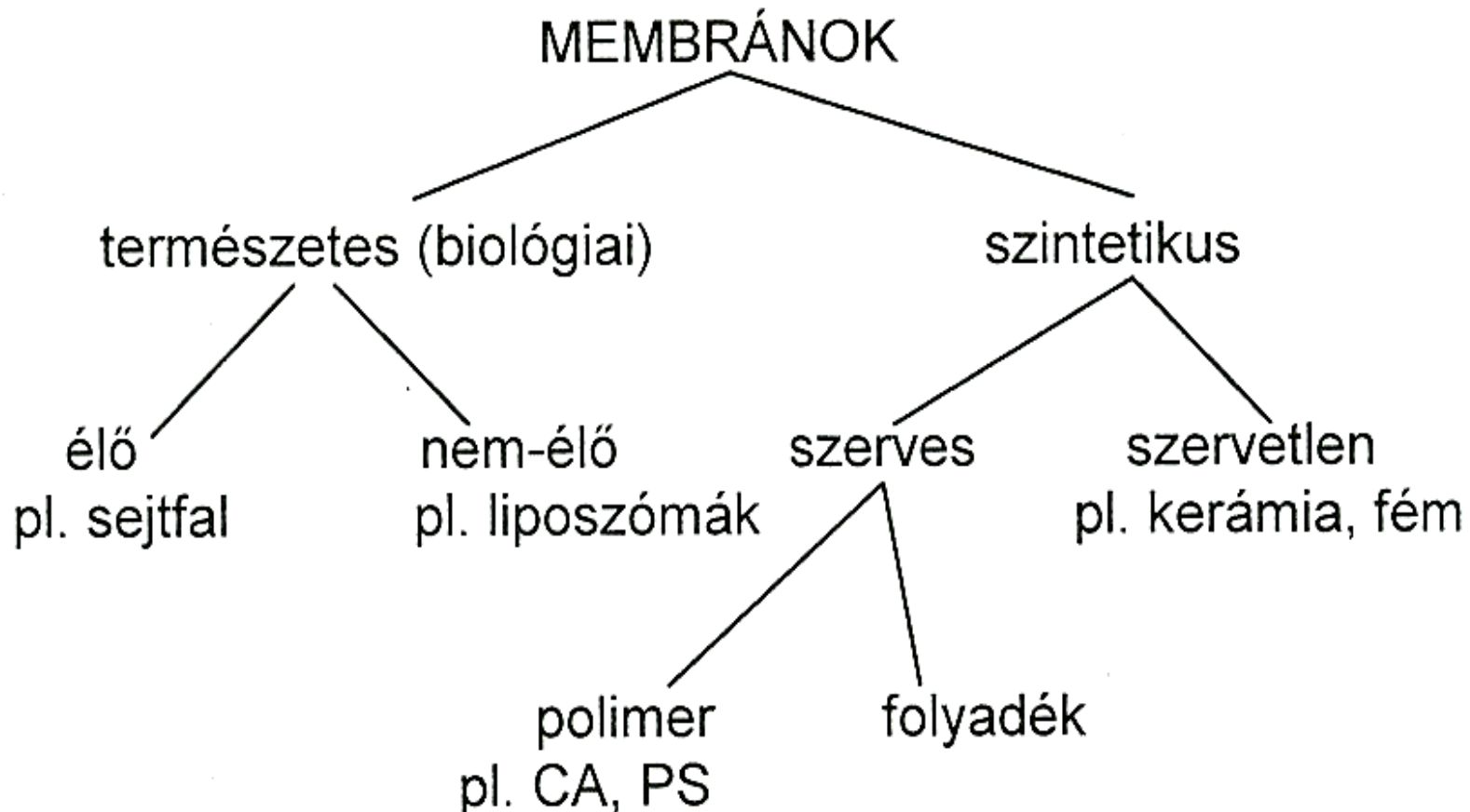
A membránok osztályozása

- **Gáz vagy vákuum**
- A kiindulási nyersanyagot és a terméket ritkított vagy atmoszférikus nyomású tér választja el egymástól. Ilyen technológiának tekinthetjük a szublimálást, vagy a fagyasztva szárítást. Mindkét esetben a hőmérsékletkülönbséggel kontrolált gőznyomásgradiens a folyamat hajtóereje.
- **Folyadék**
- Három egymásra rétegzett, de egymásban csak korlátozottan elegyedő folyadék alsó és felső fázisának komponensei a középső fázis által korlátozott mértékben cserélődhetnek csak egymással. [2]

A membránok csoportosítása

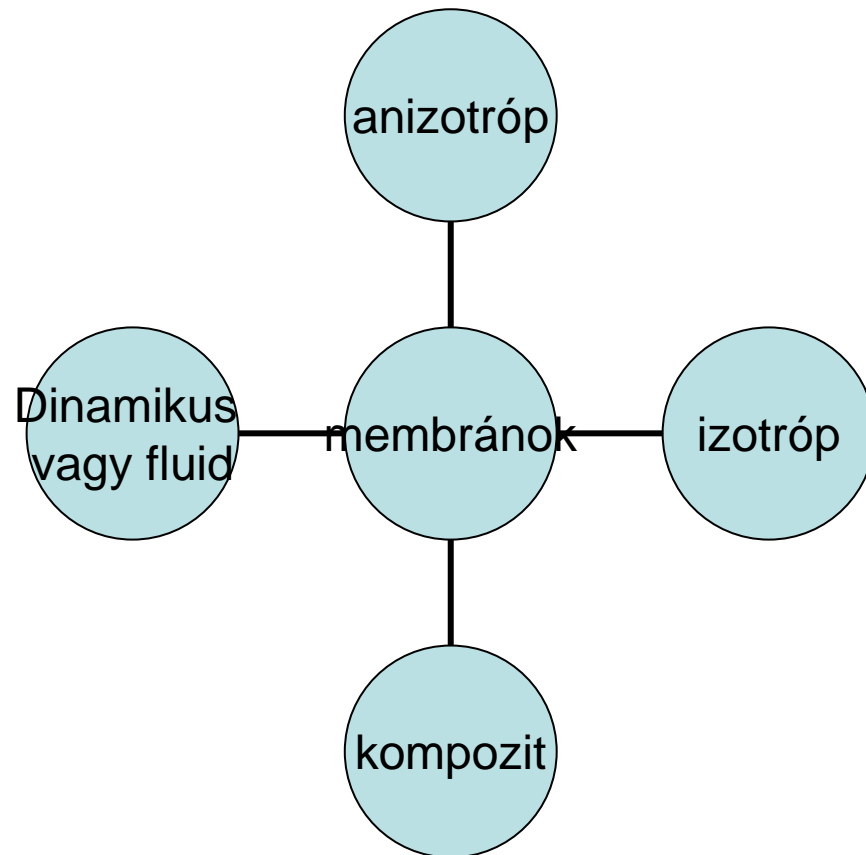
Szilárd

Alapvető jelentőségre csak a szilárd membránok tettek szert. Ezek eredet szerint a következőfélek lehetnek:



Későbbiekben csak szilárd halmazállapotú membránokról és műveletekről lesz szó

A membránok csoportosítása szerkezet szerint



- **Anizotróp:** az elválasztás egy vagy több hártyán történik, amely egy nagyobb pórusú támasztó rétegen helyezkedik el
- **Izotróp:** olyan membránok, amelyeknek a porozitása minden irányban egyforma
- **Kompozit:** porózus támasztórétegre felvitt polimer aktív réteg; különböző anyagok kombinációja
- **Dinamikus:** más néven fluid membránok. Membránok, amelyekhez egy aktív réteget képeznek a membrán felületen olyan anyag felvitelével, amelyeket fluidban kezelnek.

A membránok anyagi minősége

szerves alapanyagból készült membránok

[3]

- **Cellulóz-nitrát:** az 1990-es évek végéig ez volt a legelterjedtebb (szerves oldószereknél nem használható)
- **Cellulóz-acetát:** szerves oldószerek esetén is használható, de pH:5,5-6,5 tartományban max. 75°C-ig
- **Regenerált cellulóz membránok:** pórus struktúrájuk hasonló a cellulóz-észterekből készítette membránokéhoz, oldószerekkel szemben rezisztensek
- **Poli-vinil-klorid (PVC):** szerves oldószerekkel, közepes erősségű savakkal és lúgokkal szemben ellenálló max. 65°C-ig
- **Poli-tetra-fluor-etilén (teflon):** minden erős savval, lúggal szemben ellenálló. Hőtűrő képessége nagy: 100-300°C, de nehéz jó szeparációs képességgel rendelkező membránt készíteni belőle

A membránok anyagi minősége

szerves alapanyagból készült membránok

- **Acril:** elsősorban gyógyszeripari szűrőberendezéseknél használják (nem kerülhet a szűrletbe semmilyen toxikus anyag)
- **Poliamid (nylon):** flexibilis, tartós, jól bírja a sterilizációt
- **Poliszulfon (PSO):** nem tolerálják az olajat, olajos emulziókat, zsírokat és a poláris oldószereket; kiváló a hő- és pH-tűrő képessége; főként élelmiszeriparban használják UF
- **Kompozit membránok:** thin film composite (TFC vagy TFM), relatíve nagy fluxus és jó visszatartás(99,5% NaCl-ra), a támasztóréteg legtöbb esetben porózus PSO, az aktív réteget „in situ” polimerizálják a PSO alapon
- **Poliakrilnitril (PAN):** előnyük, hogy magas hőmérsékleten alkalmazhatóak
- **Polivinil-alkohol (PVA):** elsősorban pervaporációs membránok aktív rétege, előnye a nagy szelektivitás

A membránok anyagi minősége szervetlen alapanyagból készült membránok

- Alumínium-oxid (Al_2O_3)
- Cirkónium-oxid (ZrO_2)
- Kerámia (SiO_2)
- Ömlesztett üvegszűrő
- Fém
- Porcelán szűrők

Membránszeparáció hajtóereje, a műveletek csoportosítása 1.[4]

- Hajtóerő: p, T, c, μ különbség

MEMBRÁNSZÜRÉS

Műveletek	Membrán típusa, pólusmérete (tájékoztató értékek)	Hajtóerő	Kiszűrhető részecskék (mérete) (tájékoztató értékek)
Mikroszűrés MF	mikropórusos 0,1-1μm = = 100-1000nm	Transzmembrán nyomáskülönbség 1-3 bar	Keményítő, pigmentek baktériumok, élesztőgombák, (100 000-10 ⁶ Da)
Ultraszűrés UF	mikropórusos 0,01-0,1 μm = 10-100nm	Transzmembrán nyomáskülönbség 3-8 bar	Makromolekulák, kolloidok, vírusok, proteinek (1 000-100 000 Da)
Nanoszűrés NF	bőrtípusú 0,001-0,01μm = 1-10 nm	Transzmembrán nyomáskülönbség 1- 20 (30)bar	Nagyobb molekulák, cukrok, kétértékű ionok (100-1 000 Da)
Fordított ozmózis v. Reverz ozmózis RO	bőrtípusú 0,1-1nm	Transzmembrán nyomáskülönbség 10- 80 (160) bar	Egyértékű ionok, (tengervízből ivóvíz) (10-100 Da)

Membránszeparáció hajtóereje, a műveletek csoportosítása 2. [4]

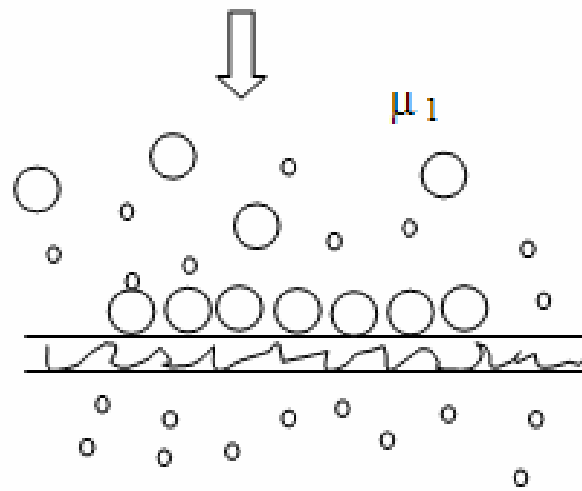
Műveletek	Membrán típusa, pólusmérete (tájékoztató értékek)	Hajtóerő	Kiszűrhető részecskék (mérete) (tájékoztató értékek)
Dialízis	mikropórusos 0,01-0,1 μm	koncentráció gradiens	sók és kisméretű molekulák elválasztása makromolekuláktól
Elektrolízis ED	kation- és anioncserélő membrán	elektromos potenciál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

3. A membrán szeparáció módjai

Jelölések:

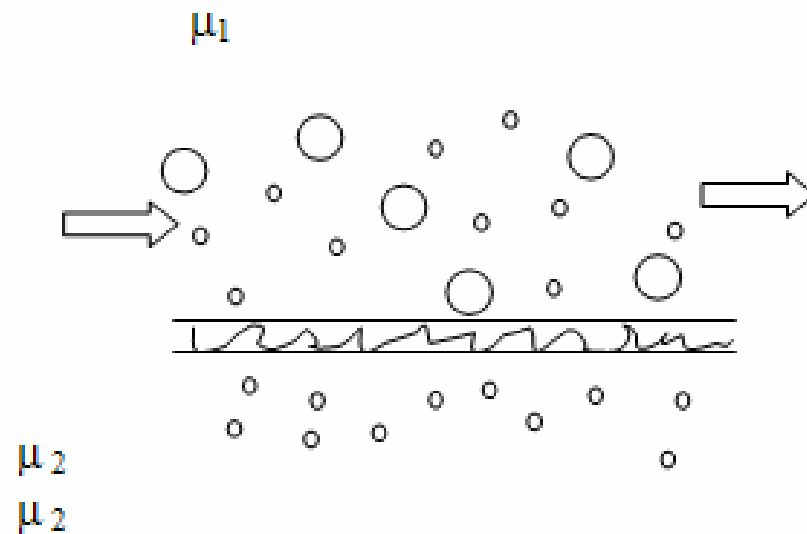
- oldószer molekula
- kiszűrendő nagyobb molekula

1. Statikus (dead end)



$$\mu_1 > \mu_2$$

2. Keresztáramú (cross flow)



$$\mu_1 > \mu_2$$

Membránműveletekkel kapcsolatos alapfogalmak 1.

- **Fluxus:** $J = \frac{1}{A} \cdot \frac{dV}{dt} \left[\frac{l}{m^2 \cdot h} \right]$ vagy $J = \frac{1}{A} \cdot \frac{dm}{dt} \left[\frac{kg}{m^2 \cdot h} \right]$

- A fluxus megfogalmazható úgy is, mint a kémiai potenciál gradiens hatására létrejövő áram.

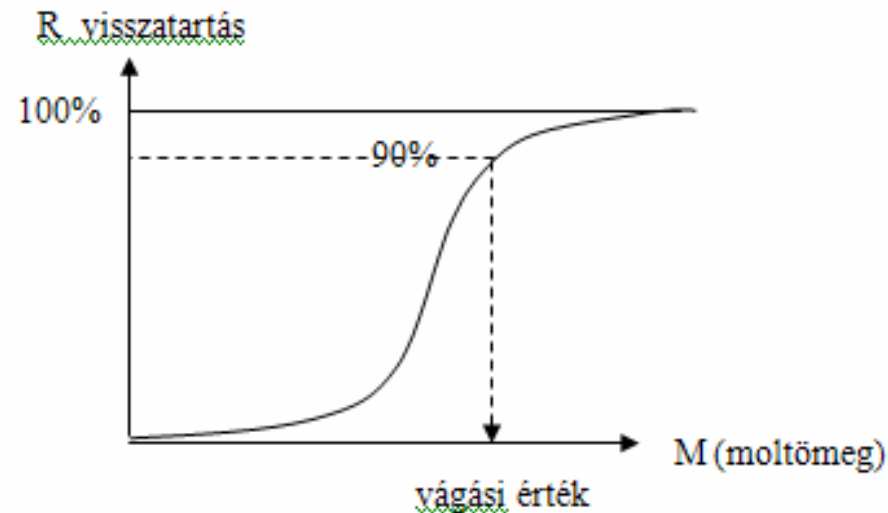
$$J = -D \cdot \frac{d\mu}{dx}$$

- **Visszatartás, vagy retenció:** adott komponensre vonatkozóan a kiindulási oldat hány %-a maradt vissza a retentátban:

$$R = \frac{c_F - c_P}{c_F} \cdot 100 = 1 - \frac{c_R}{c_F} \cdot 100$$

Membránműveletekkel kapcsolatos alfogalmak 2.

- **Vágási érték (Molecular Weight Cut-Off):** jelenti azt a molekulatömeget, amely súlyú molekuláknak 90%-át a membrán visszatartja.



13.2 ábra

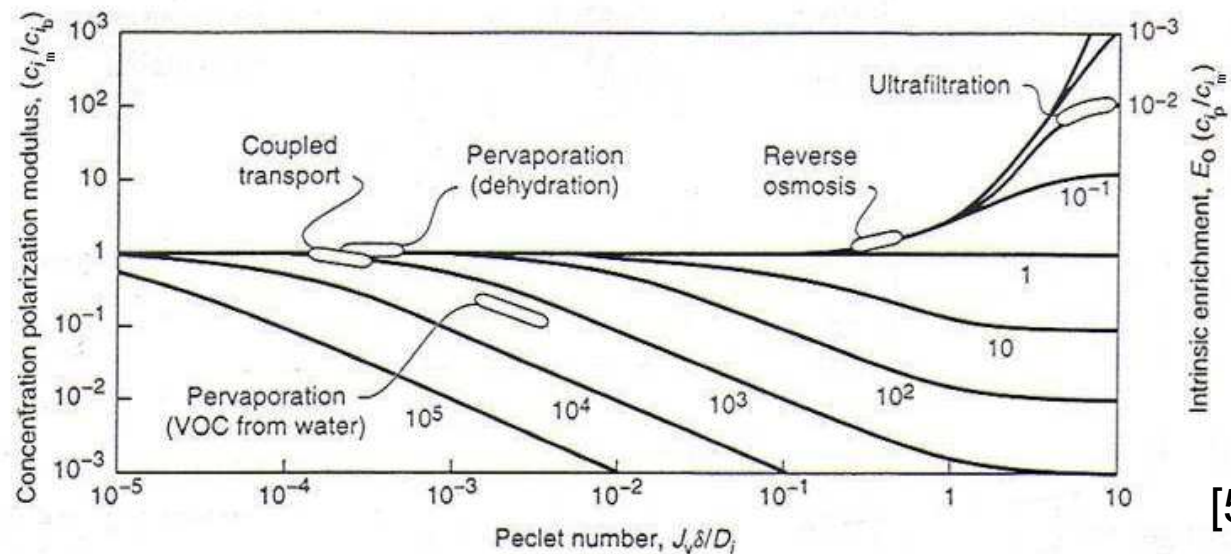
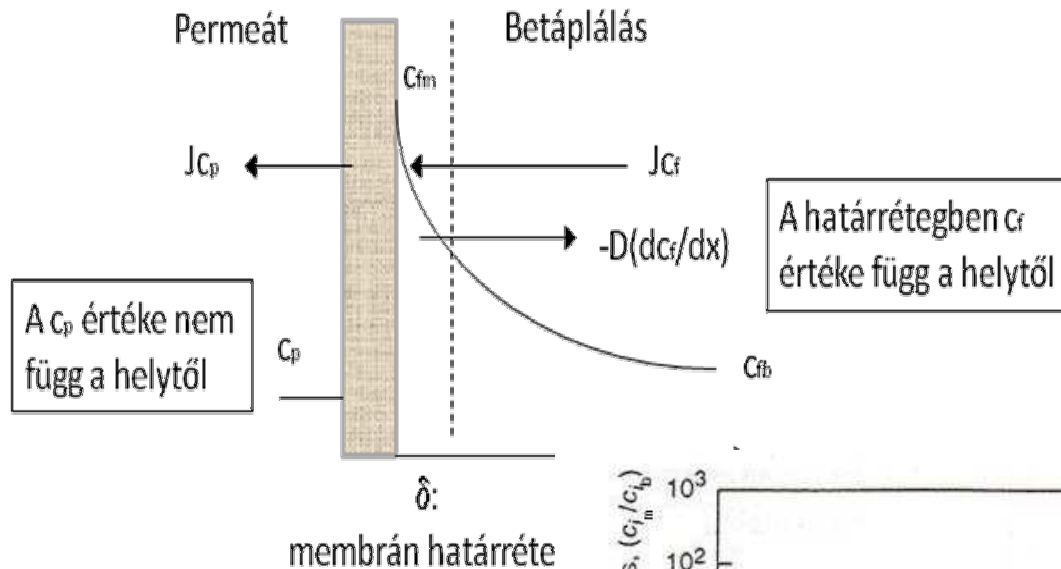
Ha $c_p = 0$, $R = 100\%$, teljes visszatartás van

- **Transzmembrán nyomáskülönbség:** a membrán betáplálási és permeát oldala közötti nyomáskülönbség.

$$\Delta p_{TM} = \frac{p_{be} + p_{ki}}{2} - p_0$$

Membránműveletekkel kapcsolatos alfogalmak 3.

- **Koncentráció polarizáció:**



Általános anyagmérleg folyamatos műveletre recirkuláció nélkül:

- $F=P+R$

ahol F: a betáplálási áram [kgs-1]

P: permeát áram [kgs-1]

R: retentát áram [kgs-1]

- (Szakaszos műveletre is igaz a képlet, ha nem tömegáramot, hanem tömeget veszünk figyelembe.)

- **Komponensmérleg az i komponensre vonatkozóan:**

$$F \cdot c_{F,i} = P \cdot c_{P,i} + R \cdot c_{R,i}$$

Transzport modellek

- **Oldódás-diffúziós modell**
(specifikálás PV-ra) [6]

$$J_k = \frac{1}{\left(1 + \frac{\bar{D}_k}{Q_0 p_{k0} \bar{\gamma}_k}\right)} \cdot \frac{\bar{D}_k}{\bar{\gamma}_k} \cdot \frac{(p_{k1} - p_{k3})}{p_{k0}}$$

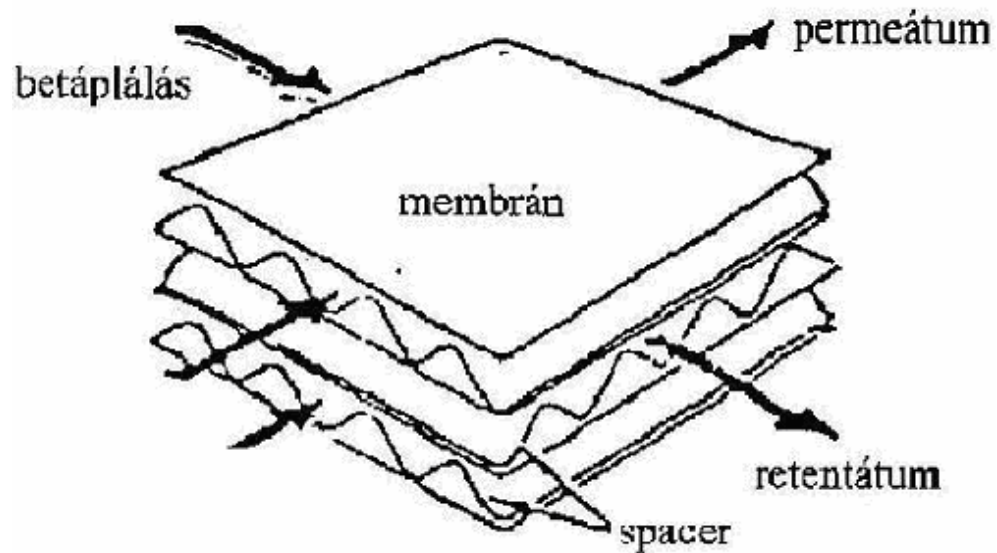
- **Ellenállás modell**
(egyszerűsített modell,
tartalmazza koncentráció
polarizáció, gélképződés,
eltömődés, adszorpció stb.-ből
eredő ellenállásokat) [7]

$$J = \frac{\Delta p - \Delta \pi}{\eta(R_f + R_m)}$$

- **Pórusmodell** (Hagen-Poiseuille) (pórusok, mint hengerekben történő áramlás) [8]

$$J_v = \frac{\Delta p}{8\eta l} \pi r^4$$

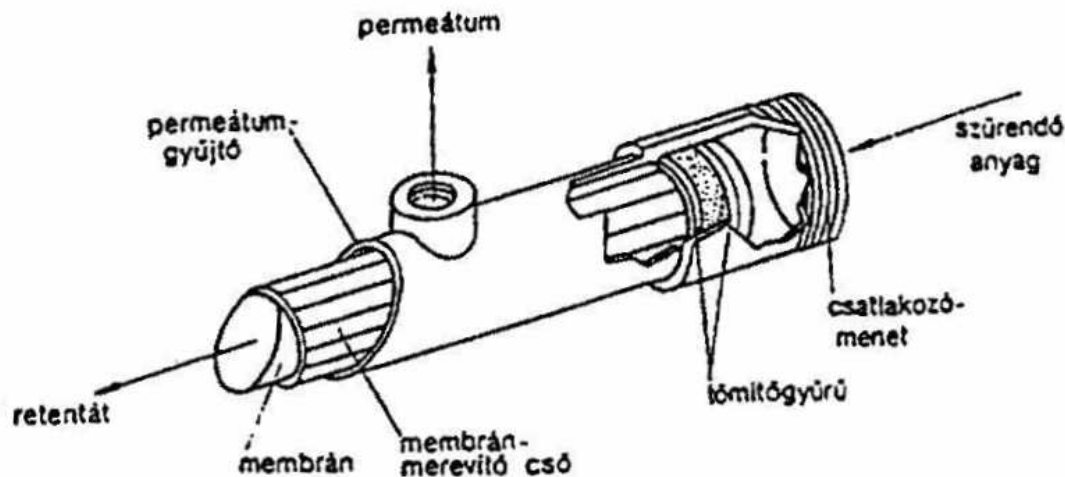
Membránmodulok 1.



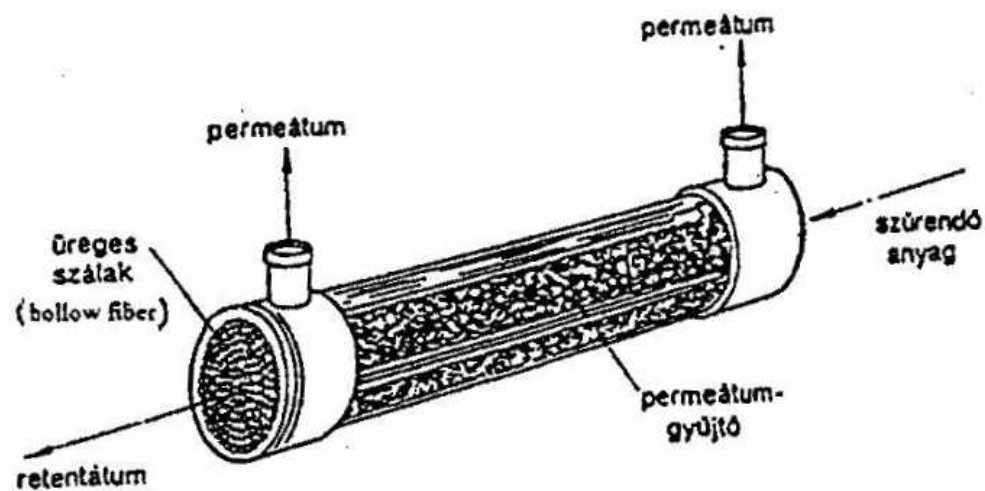
- **Lapmodul** (plate and frame system) [4]
 - Felépítése lemezes hőcserélőhöz hasonlít
 - A membránokat (porózus támasztórétegen vékony aktív réteg) távolságtartók ún. spacer-ek választják el egymástól
 - A betáplált oldat és a permeátum 0,5....1 mm magasságú csatornában áramlik
 - Áramlási sebesség akár 2 m/s is lehet
 - Hátránya: drága, nagy szivattyúzási ktg, kicsi az egységnyi térfogatra eső felület

Membránmodulok 2.

- Cső modul (tubular system) [4]
 - Csövek belső átmérője 10...25 mm.
 - Csőben turbulens áramlás, áramlási sebesség 2...6 m/s
 - Viszonylag kicsi a térfogategységre eső felület
 - Szuszpenziók koncentrálására alkalmazzák

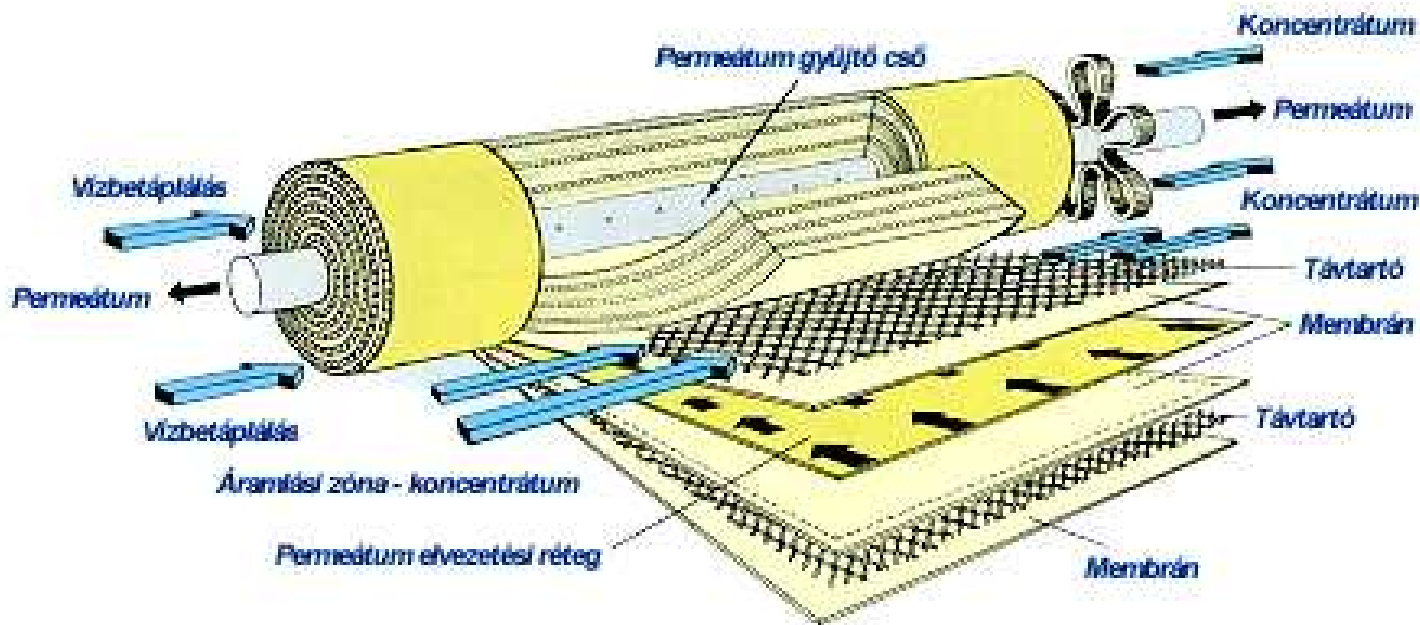


Membránmodulok 3.



- Kapilláris modul [4]
 - Felépítés csőköteges hőcserélőhöz hasonlít
 - Belső átmérője 0,5...4 mm.
 - Mechanikai stabilitást a kapilláris cső fala adja
 - Cső falvastagsága 120...180 μm .

Membránmodulok 4.



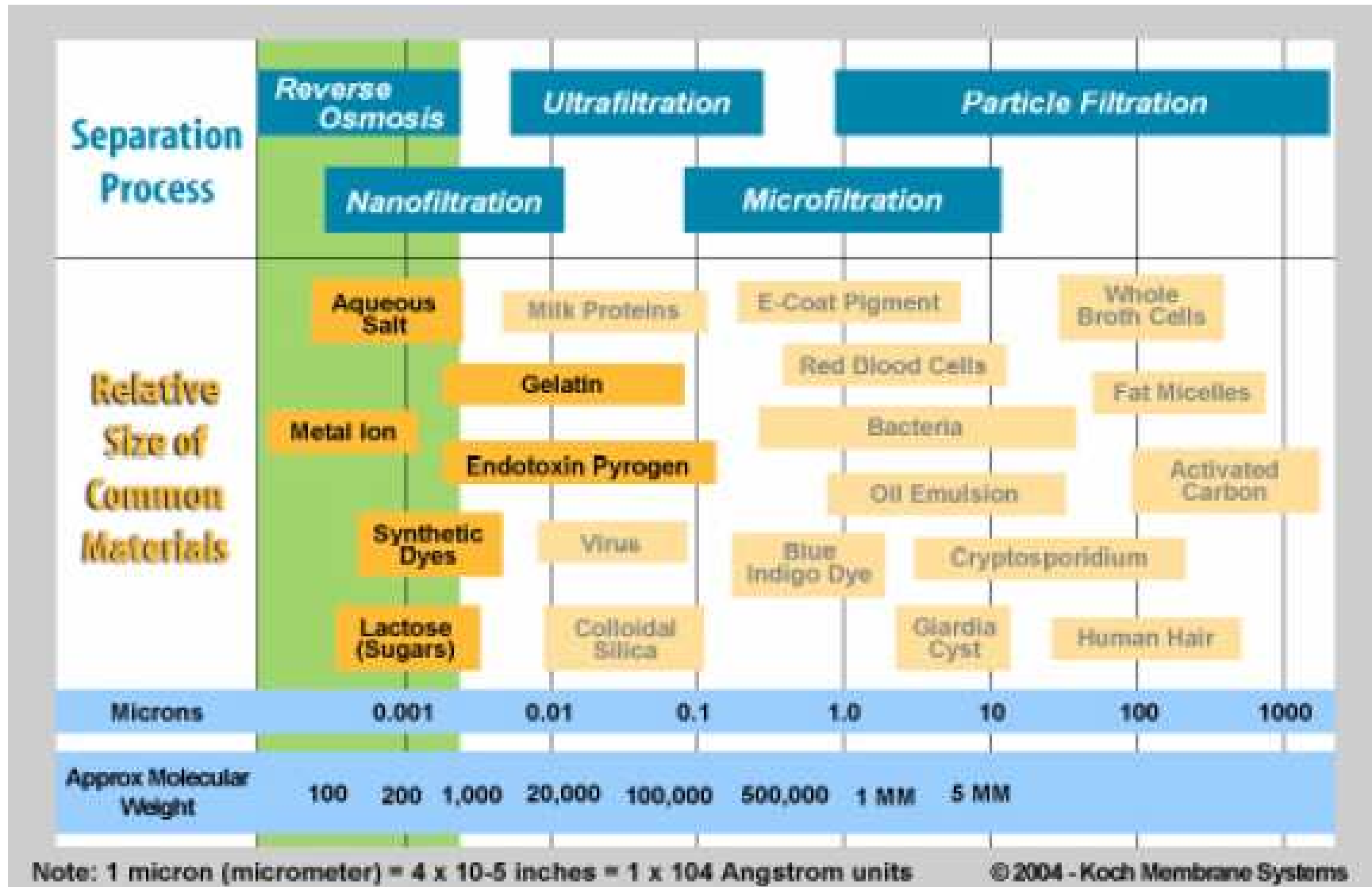
- Spiráltekercs modul (spiral wound)
 - Felépítése: szendvicsszerűen összerakott lapokat (membrán, távtartó, szűrletgyűjtő réteg) egy perforált csőköré tekerik
 - Nagy a térfogategységre eső felület

A membránmodulokkal szemben támasztott követelmények

- Kompozit membránoknál vékony aktív réteg
- Nagy permeabilitás és szelektivitás
- Stabil és hosszú élettartamú membránmodul
- Ellenállás a mechanikai és kémiai igénybevételnek
- Minél kisebb térfogatban minél nagyobb felület
- Ne legyen koncentráció polarizáció, vagy legyen jól kontrollálható
- Könnyen tisztítható modul
- Olcsó modul
- Olcsó karbantartás

Nyomáskülönbségen alapuló
membránszeparációs eljárások:
membránszűrés (MF, UF, NF, RO)

Membránszűrés mérettartománya [9]



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 az ún. **szitahatás** alapján
- Fluxus számítása: ellenállás modell vagy pórusmodell alapján
- Mikroszűrés alkalmazása
 - nyersvizek minőségének javítására
 - a lebegő anyagok kiszűrésére
 - a zavarosság megszüntetésére
 - előtisztításra

Példa: Mikroszűrés alkalmazása gépkocsikban

TRABOLD

MAGYARORSZÁG



Termékünk - TRABOLD Olajszűrők

**Bioversal Magyarország
[10]**



Bemutatjuk a TRABOLD Nagyteljesítményű mikroszűrőt, az ipari olajok szűréshez. Az összes fosszilis tüzelőanyag közel felét egy generáció múlva már elhasználtuk, és a környezetet mértéken túl megterheltük. A TRABOLD szűrőrendszerrel Ön akár 90 % olajat is megtakarít, és ezzel egyidejűleg üzemi költségeit csökkenti.

A Trabold Filter GmbH hivatalos magyarországi forgalmazója:

Roa Victor

Tel.: 06 / 20 / 316 42 02

E-mail: trabold_ro@yahoo.com

- az olajat mikroszűrő közbeiktatásával szűrik → csökken a szennyezőanyag kibocsátás.
- a mikroszűrő használata csökkenti a káros anyagok keletkezését, mint például:
 - * fáradt olaj,
 - * idő előtt kopott /törött motoralkatrészek,
 - * mérges gázok kibocsátásának csökkenése.
- A mikroszűrő használatával a motor alkatrészeinek kopása az 1/10-ére csökkent.

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
- 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 besűritése
 - almaléből zavarosító komponensek kiszűrése
 - tojásfehérje besűritése (szárítás előtt)
 - Fermentációs enzimek tisztítása

Példa: Ultraszűrés alkalmazása

Ultraszűrés

- Vizek mikrobiológiai szennyeződéseinek eltávolítása
- Ipari öblítővizek tisztítása
- Mosodai szennyvizek visszaforgatása
- Tejfeldolgozás
- Italárúgyártás



Nanoszűrés 1.

- a nanoszűrő membrán képes a kisebb molekulákat, mint pl. a **cukrokat** és a **kétvegyértékű ionokat** is kiszűrni a vízből.
- Pórusmérete 1-10 nm lehet, vágási értéke 100-1000 Da.
- Lehetnek pórusmentes, ún. bőrtípusú membránok is
- Jellemző érték: konyhasó-visszatartása, amelynek értéke 30-70 %.
- szükséges nyomáskülönbség 10-40 bar
- a legszélesebb körben alkalmazott
- Pórusos membránok esetén: **szitahatás**
- Bőrtípusú membránok esetén a **kémiai potenciálkülönbség** alapján megy a transzport (membrán esetleges felületi töltése, vagy az oldódás-diffúzió alapján)

Nanoszűrés 2.

Fluxus számítása: ellenállás modell, vagy oldódás-diffúziós modell alapján

- Alkalmazása

- Vízisztítás: vízlágyítás

- Mezőgazdaság: anaerob rothasztók szennyvizeinek KOI csökkentése

- Élelmiszeripari alkalmazás

- tejsavó részleges sóatlanítása és besűritése

- gyümölcsle-sűrítvény gyártása

- növényolaj finomítása

- Technológiai vizek tisztítása

- Nehézfémek kiszűrése

- stabil olaj-víz mikroemulziók szétválasztása

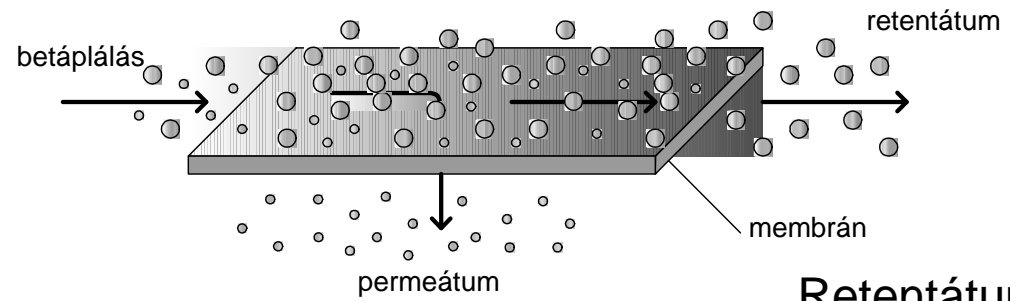
- Radioaktív izotópot tartalmazó vizek szűrése

Példa: Nanoszűrés alkalmazása az elektrokémi iparban

Galvanizáló üzem öblítő vizének réztartalom csökkentése
[12]

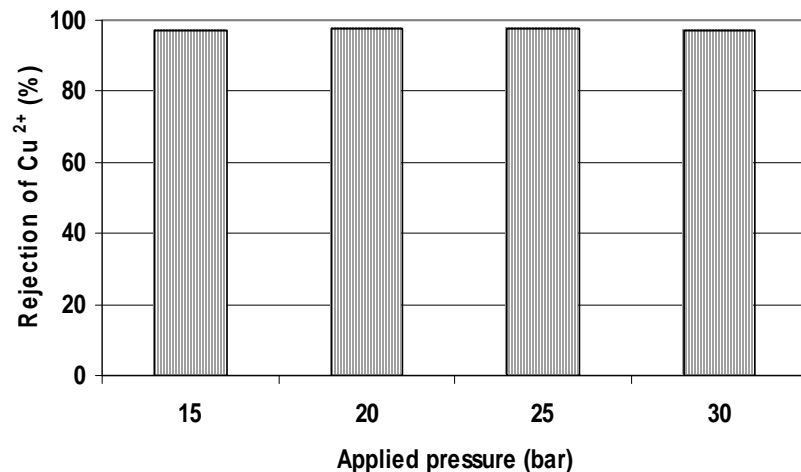
Betáplálás:
0,5 g/l Cu^{2+}

Alkalmazott membrán:
KOCH MPF-44 típusú
Nanoszűrő, síklap membrán



Permeátum:
15 mg/l Cu^{2+}

Retentátum:
Koncentrált
réz oldat



A membrán alkalmazott nyomástól függetlenül 97%-os visszatartást mutatott Cu^{2+} ionra.

Fordított ozmózis

- legfinomabb szűrés a membránszűrések közül.
- Az RO membránok gyakorlatilag csak az **oldószer molekulákat engedik át**.
- NaCl visszatartásuk elérheti a 99-99,9 %.
- Nempórusos membránok, hanem **bőr típusú membránok**
- Szükséges nyomás ($p > \Delta\pi$!): 20-100 bar
- Fluxus számítás: elsősorban oldódás-diffúziós modellel, vagy módosított ellenállásmodellel
- Fordított ozmózis alkalmazása
 - tengervíz sótelenítése, elsősorban arab országokban
 - ipari víz előkészítése
 - Kazán tápvíz előszítése
 - Ultratiszta vizek előállítása pl. oltótenyészetek készítéséhez
 - tej besűrítése a tejporgyártás első lépéseként

Példa: Fordított ozmózis alkalmazása ivóvíz előállításra

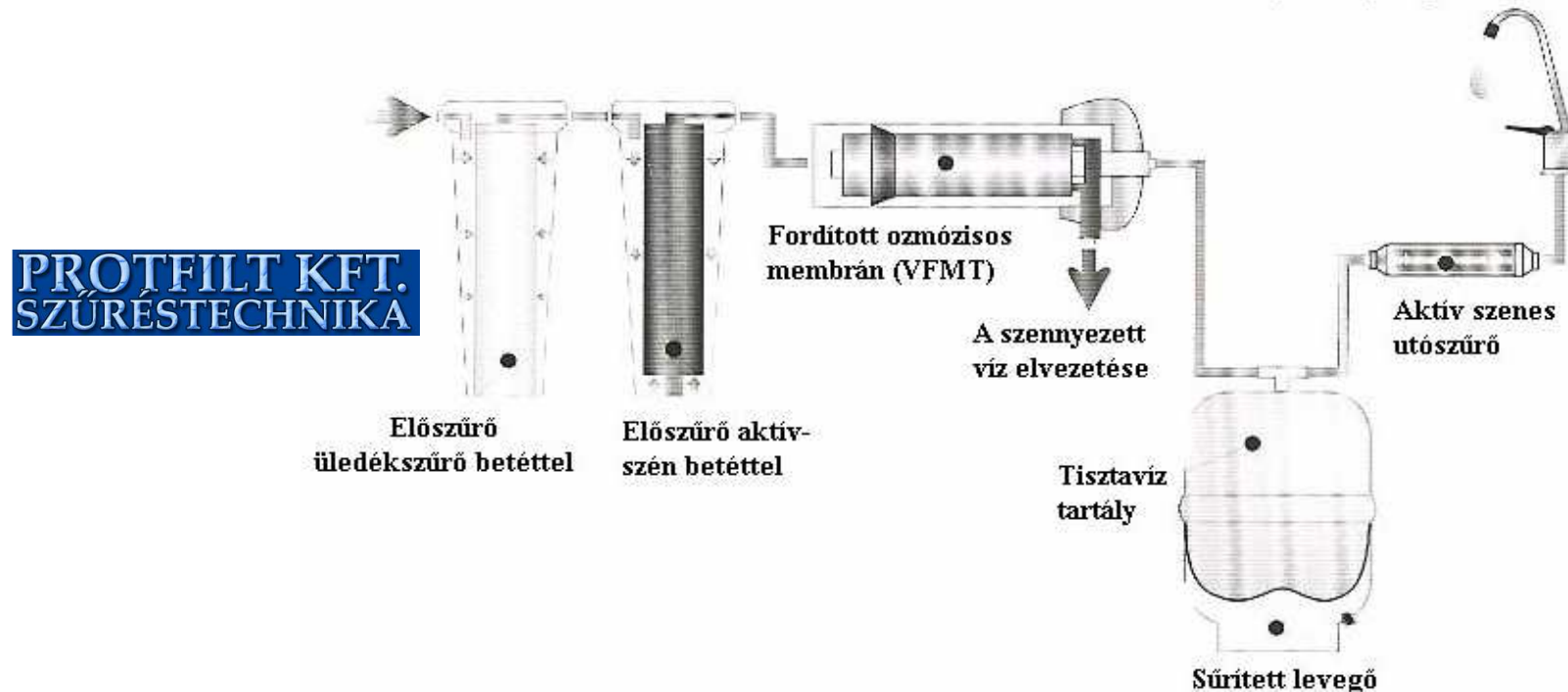
Distribution of desalination capacity by process

	Share of capacity (%)	
	World	United States
Distillation	70	21
Reverse osmosis	25	73
Electrodialysis	5	6

Source: Buross 1989.

Példa: Fordított ozmózis alkalmazása ivóvíz előállításra [13]

A standard PROFILT Fordított Ozmózis Rendszer (FOR5) rajza



- A **három lépcsős** előszűrés esetén, a szennyezett víz első lépésben a **20 mikronos polipropilén betétes üledékszűrőn** halad keresztül, ami a nagyobb lebegő szennyező-részecskéket tartja vissza. A második lépcső egy **aktív-szén szűrő**, amely kókuszshéjas aktív-szén granulátumokból áll. Ez eltávolítja a klórt és a szerves szennyeződések. A kaszkárendszer harmadik foka egy **5 mikronos polipropilén szűrő**. Ez felfogja az olyan szennyeződések, mint a homok, az iszap, vagy a rozsda.

A **két lépcsős** előszűrés esetén az első az **5 mikronos polipropilén szűrő**, a második pedig az **aktív-szén szűrő**.

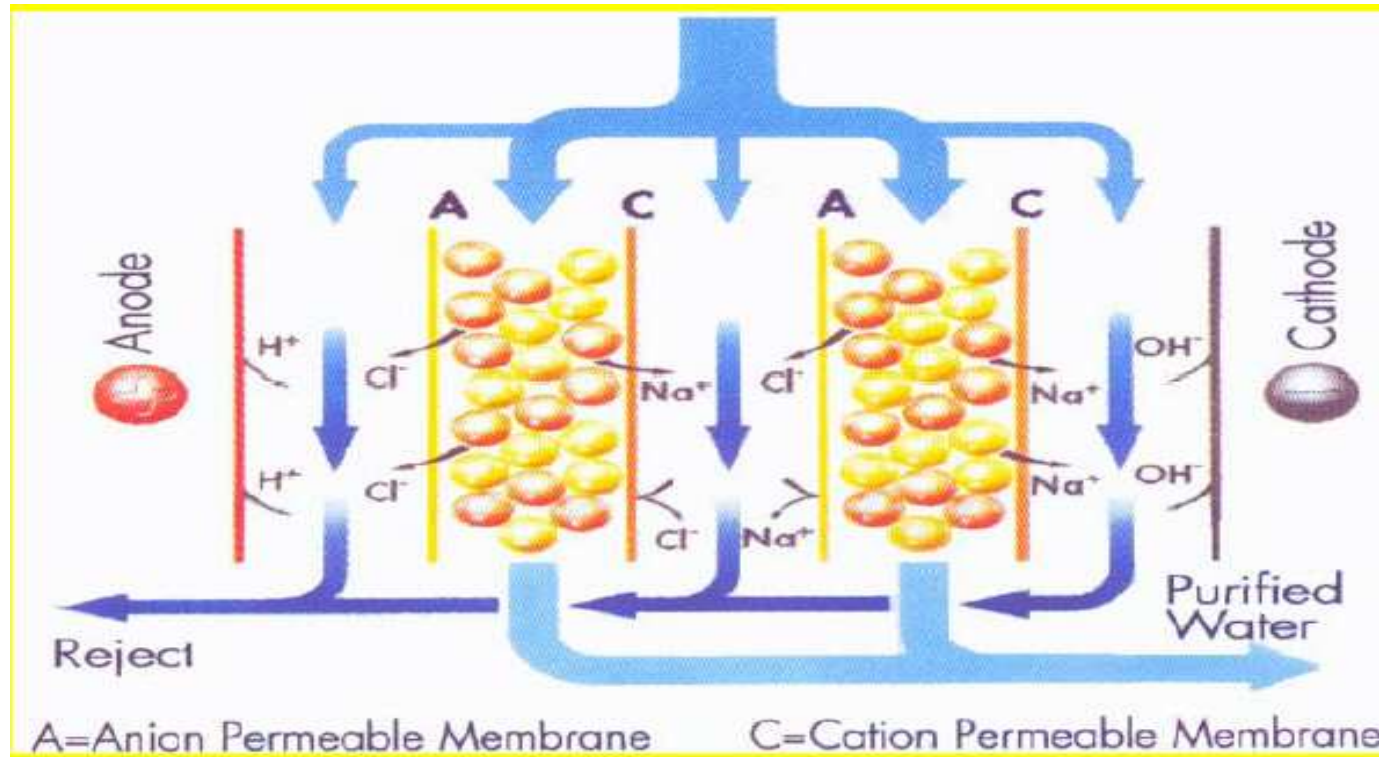
- A **Fordított Ozmózis Membrán** (a következő lépcső) eltávolítja a vízben oldott összes szennyezőanyag 96-99,9%-át éppúgy, mint a baktériumokat, a gombákat és véglény tömlőket. A membrán (20C fok és min. 2,8 bar esetén) akár napi 250 liter ivóvíz tökéletes megtisztítására képes.
- Az utolsó lépcső egy **utószűrés**, melynek során egy aktív-szén szűrő távolítja el a vízből az esetleges gázmolekulákat, amelyek a víz ízének megváltozását eredményezhetnek.
- A tiszta vizet egy nyomás alatt levő tartály (15 l) tárolja, amely közvetlenül a mosogatóra szerelt csapra van kötve. [9]

Membránszűrés alkalmazása [14]

Table 3. Type of Membrane Process for Several Products			
		Permeate	Concentrate
RO	dyeing effluent	clean water	BOD, salt, chemicals, waste products
	water	low salinity water	salty water
	whey	low BOD permeate	whey concentrate
NF	antibiotics	salty waste product	desalted, concentrated antibiotics
	dyeing effluent	clean, salty water	BOD/COD, color
	water	softened water	waste product
	whey	salty waste water	desalted whey concentrate
UF	antibiotics	clarified fermentation broth	waste product
	bio-gas waste	clarified liquid for discharge	microbes to be recycled
	carrageenan	waste product	concentrated carrageenan
	enzymes	waste product	high value product
	milk	lactose solution	protein concentrate for cheese production
	oil emulsion	oil free water (<10 ppm)	highly concentrated oil emulsion
	washing effluent	clarified water	dirty water (waste product)
	water	clarified water	waste product
	whey	lactose solution	whey protein concentrate
	xantan	waste product	concentrated xantan

Elektromos potenciál
különbségen alapuló
membránszeparációs eljárás:
Elektrodialízis

Elektrodialízis 1.



[15]

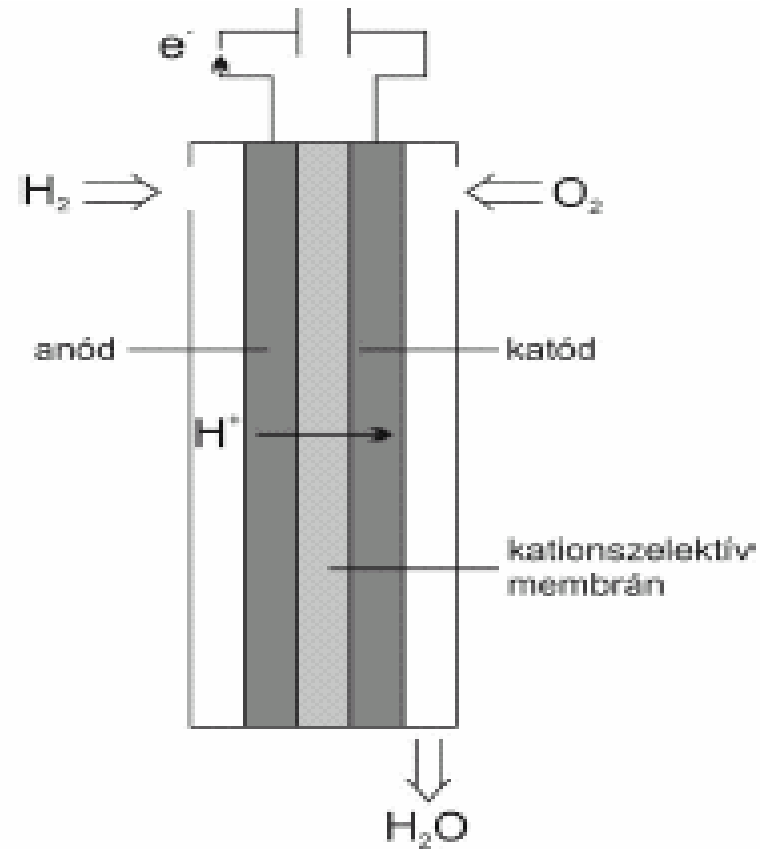
- Elektromos potenciál különbség hatására ionvándorlás
- Töltéssel rendelkező komponensek szétválasztása
- Kation és anion szelektív membránok alkalmazása

Elektrodialízis 2.

- Ha egy sóoldatot elektromos potenciálkülönbség (feszültség) alá helyeznek, a kationok a negatív elektród (katód) felé vándorolnak, míg az anionok a pozitív elektród (anód) felé.
- Az ionok vándorlásának szabályozása: elektromosan töltött membránokkal (kation- és anionszelektív membránok
- váltakozó sorrendben a katód és az anód közötti térben)
- A szeparálandó oldatot (pl. NaCl) keringetni kezdik ebben a térben
- Egyenáram → az ionok vándorolni fognak a megfelelő elektród felé
- Az anionok azonban nem tudnak áthatolni a negatív töltésű (kationszelektív) membránon, s a kationokat hasonlóképpen visszatartja a pozitív töltésű (anionszelektív) membrán.
- Így összességében az ionok koncentrációja minden második egységben emelkedik, míg a többi egységben csökken.
- Váltakozva híguló és töményedő oldatot tartalmazó egységek alakulnak ki.

Példa: elektrodialízis elvén működő tüzelőanyag cella [16]

- Cél: kémiai energia átalakítása elektromos energiává
- H_2 gáz H^+ ionokká oxidálódik
- Elektronok egy külső körön keresztül az anódtól a katód felé áramlanak
- H^+ kationcserélő membrán átáramlik
- Ott O_2 -vel reagálva víz képződik



4. ábra • Tüzelőanyag-cella vázlata

Koncentráció különbségen
alapuló membránszeparációs
eljárások: dialízis, pervaporáció

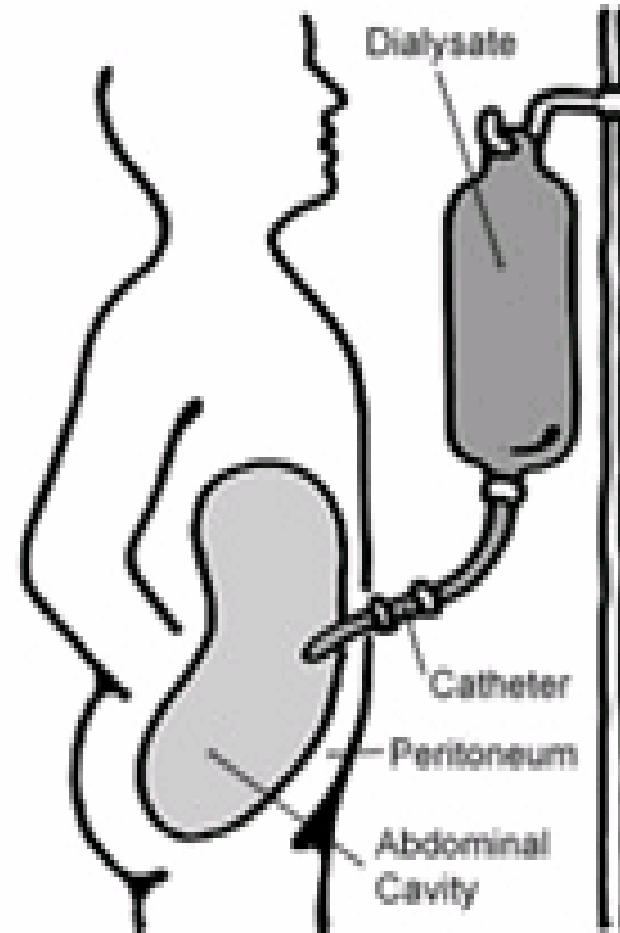
Dialízis

- Különböző méretű molekulák elválasztása koncentráció különbség alapján
- Transzport diffúzió alapján
- Fluxus számítása: oldódás-diffúziós modellel

Példa: Dialízis alkalmazása [17]

- A peritoneális dialízis a hasüregben található beleket borító, igen sok véredényt tartalmazó vékony természetes membrán (peritoneum/hashártya) segítségével történik
- Az eljárás során, amelyben a peritoneális membrán játssza a hemodialízis filter szerepét, egy különleges folyadékot, dializáló oldatot, öntenek a hasüregbe, amely néhány órán keresztül ott marad. A dializáló oldatot egy vékony csövön, a katéteren keresztül juttatják be, amelyet egy kisebb műtét keretében illesztnek be az alhasba.

Amikor a dializáló oldat bekerül a peritoneális térbe, a vér a peritoneális membránon keresztül megtisztul és a méreg anyagok kiáramlanak a dializáló oldatba. Ezután a dializáló oldatot (immár méreganyagokkal telítve) leeresztik és friss oldatot juttatnak a helyébe. Két kezelés között a katétert gondosan lezárják és a ruházat alá rejtik.



Pervaporáció

- Hajtóerő a koncentrációkülönbség, de a technikai megvalósítás miatt gyakorlatilag a fugacitás különbség
- Folyadék betáplálás adott hőmérsékleten (60-100°C)
- Betáplálási oldalon túlnyomás (1-2bar)
- Permeát oldalon vákuum → permeát gőz halmazállapotú
- Retentát folyadék halmazállapotú
- Membrán: az aktív réteg pórusmentes ún. bőrtípusú membrán, támasztóréteg pórusos
- Legtöbbször PVA/PAN kompozit membrán
- Fluxus számítás: oldódás-diffúziós modellel

Alkalmazási területek

- Azeotropok elválasztása
- Oldószerek vízmentesítése
 - (hidrofil membrán)
- Szerves anyagok eltávolítása
 - (organofil membrán)
- Közeli forrponú anyagok elválasztása
- Pl: Magyarországon Nitrokémiában izopropanol víztelenítésére
- Alkalmazzák etanol abszolútizálására
- Bioetanol fermentációs úton történő előállításakor organofil pervaporációval alkohol kinyerés

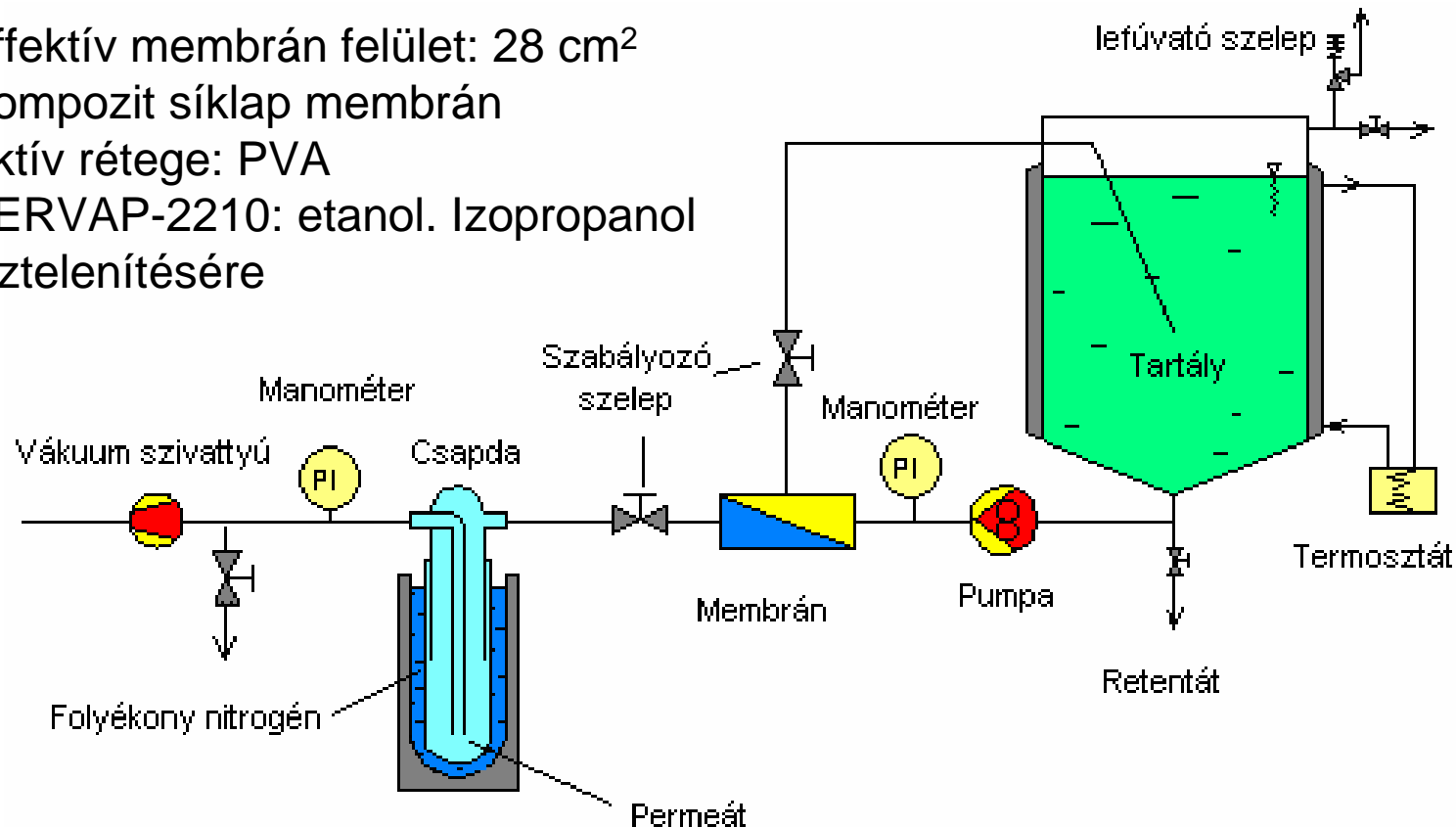
CELFA P-28 univerzális membrán tesztberendezés, BME KKFT tanszék

Effektív membrán felület: 28 cm²

Kompozit síklap membrán

Aktív rétege: PVA

PERVAP-2210: etanol. Izopropanol
víz-telenítésére

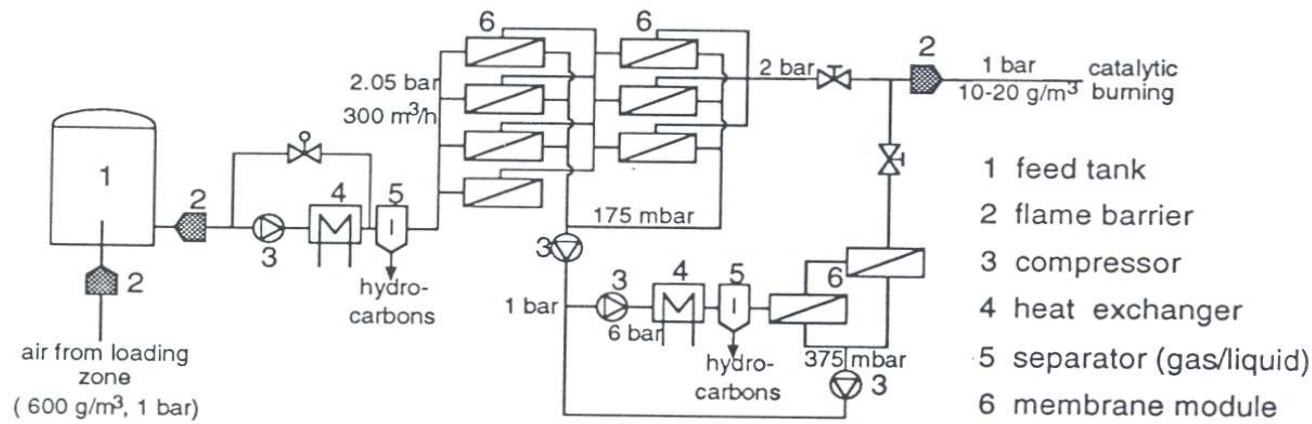


Gőzpermeáció

Gőzpermeáció

- Hajtóerő a koncentrációkülönbség, de a technikai megvalósítás miatt gyakorlatilag a fugacitás különbség
- Betáplálás magas hőmérsékleten (komponensek illékonyságától függően)
- Permeát oldalon vákuum → permeát is gőzhalmazállapotú
- Membrán: többnyire az aktív réteg pórusmentes ún. bőrtípusú membrán, támasztóréteg pórusos
- Legtöbbször PVA/PAN kompozit membrán
- Fluxus számítás: oldódás-diffúziós modellel

Példa: gőzpermeáció alkalmazása [18]



- GKSS GmbH (Németország) fejlesztése
- Alkalmazás: benzin tartályok feltöltésekor, illetve leengedésekor keletkező benzin gőz visszanyerésére
- 600 m³/h levegő megtisztítása (1 bar, környezeti hőm., kb. 20V% szénhidrogén gőzöket tartalmaz)
- Kompresszió után: 2 bar → kondenzátum elvétele, majd a maradék levegő/gőz elegy membránszeparációja
- 1 membrán: Permeátum oldalon 175 mbar, benzinben dúsított anyag elvétele
- Majd anyagáram kompressziója 6 barra
- 2. membrán: Permeátum oldalon 375 mbar
- **A benzingőz 98%-a kinyerhető**

Hőmérséklet különbségen alapuló
membrános eljárások:
Membrándeztilláció

Membrándeztilláció vagy Membrános Desztilláció

- Két különböző hőmérsékletű vizes fázist egy hidrofób, pórusos membrán választ el egymástól.
- Elválasztás alapja: $\Delta T \rightarrow$ gőznyomás különbség.
- Alkalmazott membránok: hasonlóak a PV membránokhoz
- Fluxus számítás: oldódás-diffúziós modellel
- Alkalmazás: tiszta víz szervesetlen sóktól történő elválasztására, alkohol sörből, borból vagy fermentáció elegyekből történő kivonása

Membránok alkalmazása szennyvíztisztításban

Membránok alkalmazása szennyvíztisztításban

- Kommunális szennyvíz
 - Membrán bioreaktorok (MBR) alkalmazása
- Ipari szennyvíz
 - Keletkező szennyvíz összetételétől és a kívánt céltól függően változik az alkalmazott technológia
 - Többnyire más technológiával kombinálva, ún. hibrid műveletként történő alkalmazás

Ipari szennyvíztisztítás membránokkal 1.

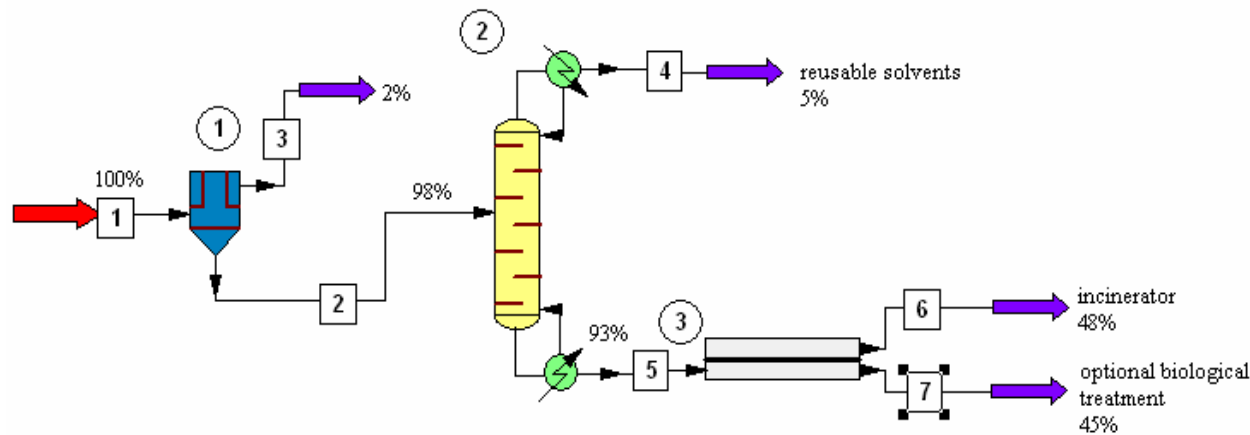
- Élelmiszeripar
 - Sterilizálás: UF
 - Tejipari szennyvíz, értékes komponensek koncentrációja: NF
 - Gyümölcslejárás szennyvizéből, íz- és aromakomponensek visszanyerése: UF
- Erőművek
 - Szennyvizek radioaktív izotóptartalmának koncentrációja: NF
- Mezőgazdaság
 - Anaerob rothasztók szennyvizeinek KOI csökkentése: NF

Ipari szennyvíztisztítás membránokkal 2.

- Hulladéklerakók
 - Csurgalékvíz KOI csökkentése: NF
- Elektrokémiai ipar
 - Fémionok kinyerése: NF
 - Mosóalkoholok koncentrációja (pl. IPA): PV
- Metallurgia, gépgyártás
 - Olajos szennyvizek, emulziók szeparálása: UF
- Papíripar
 - Lignoszulfonátok kinyerése: UF
- Textilipar
 - Festékes szennyvízből festékek koncentrációja: NF

Példa: Vegyipar

Vegyipari szennyvíz KOI csökkentése hibrid művelettel, esettanulmány [19]



Hibrid technológia:

1. Szűrés (MF)
2. Desztilláció (14 elméleti tányér, reflux arány 10)
3. Membránszűrés (RO)

áram	1	2	3	4	5
KOI (mg/l)	42 000	36 000	6 000	19 000	17 000

7 Kitermelés (%) (5 és 7-es áramok)	Permeátum KOI (mg/L)
20	973
40	2900
45	3070

Irodalomjegyzék

- [1] Bélafiné Bakó Katalin, Membrános műveletek, Veszprémi Egyetemi Kiadó, 2000
- [2] http://technologia.chem.elte.hu/hu/muvelettan/Vegyipari_Muvelettan_teljes.pdf
- [3] Gál Beáta, Szeszes italok szűrhetőségének vizsgálata, Szeszipar, 45.évf, 1.sz., (1997) 14-25.o.
- [4] Vegyipari Félüzemi Praktikum, Műegyetemi Kiadó, 2000, 194-203.o.
- [5] R.W. Baker, Membrane Technology and Applications, 2004, Wiley
- [6] Mizsey Péter, Koczka Katalin, Deák András Fonyó Zsolt, Membránpervaporáció modellezése az „oldódás-diffúziós” modellel, Magyar Kémikusok Lapja , 2005. 7.szám, 239-242
- [7] A.L Schäfer, Nanofiltration, Principles and Applications, 2005
- [8] Fonyó-Fábry, Vegyipari Művelettan Alapismeretek, Nemzeti Tankönyvkiadó, 1998
- [9] www.kochmembrane.com
- [10] <http://bioversal.extra.hu/indextrabold.html>
- [11] www.hidrofilt.hu
- [12] Edit Cséfalvay, Viktor Pauer, Peter Mizsey: *Recovery of Copper from Process Waters by Nanofiltration and Reverse Osmosis*, Desalination Journal 240 /1-3 (2009) pp. 132-142
- [13] www.protfilt.hu
- [14] Jorgen Wagner, Membrane Filtration Handbook, Practical Tips and Hints, OSMONICS Inc., 2001, 2nd edition
- [15] Pécs Miklós, előadásanyaga:
<http://oktatas.ch.bme.hu/oktatas/konyvek/mezgaz/bioelv%E1lm%FBv/membran/Membr%E1nfekete.pdf>
- [16] Bélafiné Bakó Katalin, Az ozmotikus erőműtől a lélegző esőkabátig-membránok, Magyar Tudomány, (2007) 8.sz. 1024-1033.o.
- [17] www.nephrocare.com
- [18] Membrane Separations Technology. Principles and Applications, Edited by R.D. Noble and S.A. Stern, 1995, Elsevier Science
- [19] ECCE-6, European Congress of Chemical Engineering, Treatment of pharmaceutical waste water by hybrid separation processes, E. Cséfalvay, K. Koczka, P. Mizsey, Kopenhága, Dánia, 2007, ISBN: 978-87-91435-56-0, vol.2, pp. 465-466