
Enzimes bioreaktorok

Készítette: Varga Anita

Enzimes rendszerek I.

- Az **enzimes reaktorok** olyan tartályok, amelyekben a reakciók szabad vagy rögzített enzimek segítségével valósulnak meg.
- A kémiai reaktorokkal szemben a reakciók alacsonyabb hőmérsékleten és nyomáson, viszonylag kis energia befektetéssel mennek végbe.
- Az enzimes rendszerek lehetnek **homogén** vagy **heterogén** fázisúak.

Enzimes rendszerek II.

homogén	heterogén
<ul style="list-style-type: none">• oldott enzimek• azonos fázisban S-sel és P-vel	<ul style="list-style-type: none">• immobilizált enzimek• enzim térben lokalizált vagy szilárd fázisban, S és P oldat fázisban
előnyök	
<ul style="list-style-type: none">• az enzim nem veszít aktivitásából• az enzim izolálásán kívül egyéb előkészítést nem igényel• nincs diffúziós gát	<ul style="list-style-type: none">• az enzim könnyen elválasztható a reakcióelegytől• a termék kinyerése könnyebb és olcsóbb• az enzim folytonos üzemben vagy újra, több ciklusban is felhasználható• reakció könnyen leállítható és terminált• pH-, és hő stabilitás nő
hátrányok	
<ul style="list-style-type: none">• csak egyszer használhatóak fel, reakció után elvesznek• eltávolításuk a reakcióelegyből bonyolult és költséges• szennyezik a terméket és nehezítik annak tisztítását	<ul style="list-style-type: none">• rögzítés előkészítése, megvalósítása bonyolult és költséges• legtöbbször csökken az enzim aktivitása

Enzimrögzítés módszerei

fizikai

adszorpció

valamely hordozó felületén
pl.: ioncserélők

gélbe zárás

pl.: alginát, poliakrilamid

mikrokapszulázás

féligáteresztő membránnal határolt, 300 µm átmérőjű kapszulák

visszatartás membránnal

ultraszűrő membrán
enzim oldott állapotban van egy zárt térben, elkülönítve a szabadon diffundáló szubsztráttól és a terméktől

kémiai

hordozóhoz v. membránhoz
rögzítés

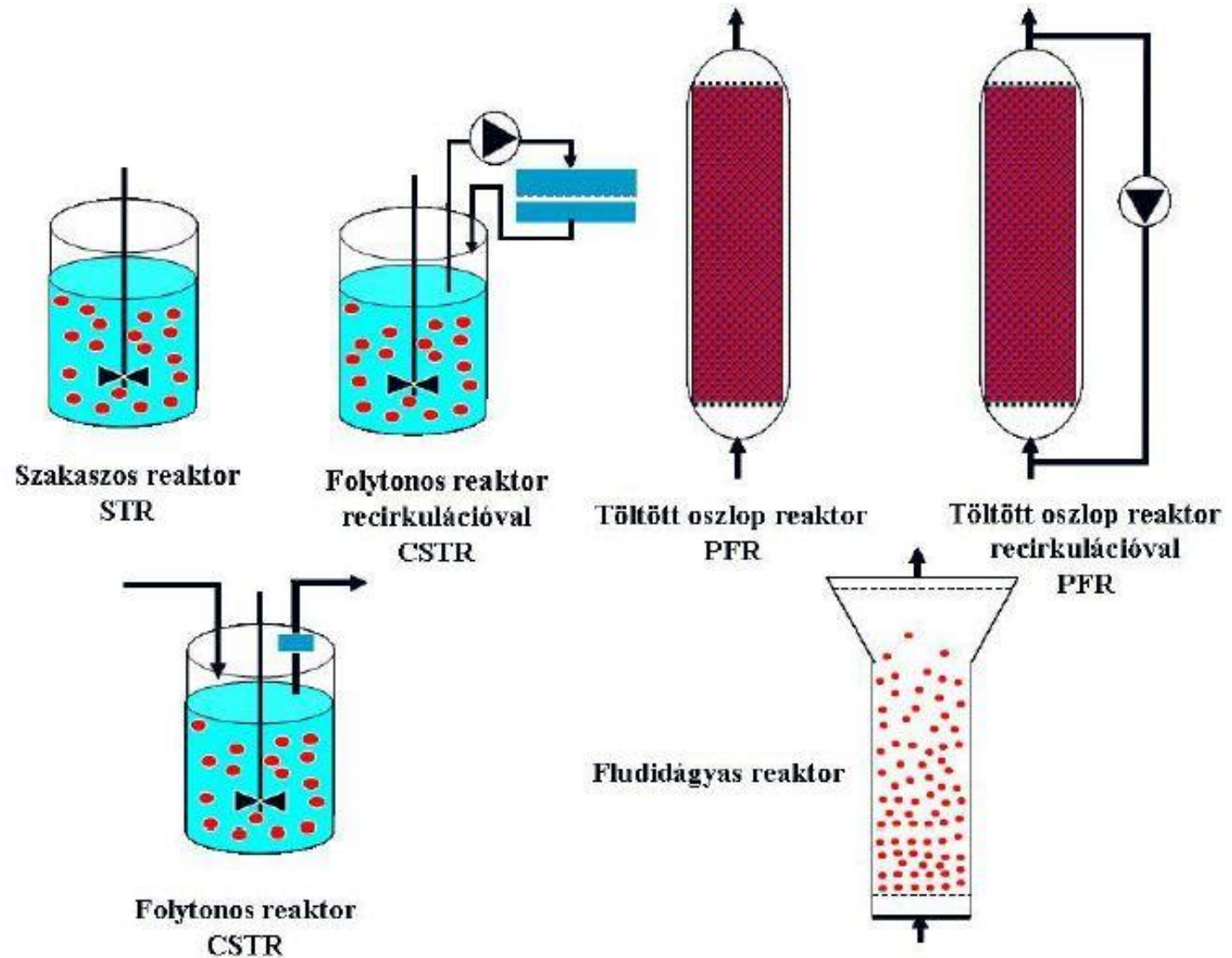
kovalens kötés
polimer hordozók (természetes, szintetikus)

keresztkötés enzimmolekulák
között

két- vagy többfunkciós vegyület felhasználásával
→ megnő a méret → oldhatatlan gélszerű részecskék
iparban: először fizikai módszerekkel abszorbeálják egy hordozó felületén, ezután hozzák létre a keresztkötetést

Enzimes reaktortípusok

- Kevert reaktorok (STR, CSTR)
- Dugóáramú reaktor (töltött oszlop)
- Fluidágyas reaktor
- Ultraszűrő reaktor
- Enzim-membrán reaktor



A reaktorok teljesítményjellemzői I.

- A cél a kívánt produktivitás elérése a lehető leggyorsabban, a lehető legkisebb reaktorméret használatával, minimalizálva a költségeket.
- bioreaktorok teljesítményjellemzői:
 - konverzió
 - hozam
 - szelektivitás
 - produktivitás
 - aktivitás
 - stabilitás

A reaktorok teljesítményjellemezői II.

- **konverzió:** átalakult mólok száma / kiindulási mólok száma

$$X_S = \frac{n_{S_0} - n_S}{n_{S_0}}$$

- **hozam:** szintetizált mólok száma / kiindulási mólok száma

$$\mu_P = \frac{n_P - n_{P_0}}{n_{S_0}} * \left(\frac{v_S}{v_P} \right)$$

- **szelektivitás:** szintetizált mólok száma / konvertált mólok száma

$$\sigma_P = \frac{n_P - n_{P_0}}{n_{S_0} - n_S} * \left(\frac{v_S}{v_P} \right)$$

$$\mu_P = \sigma_P * X_S$$

n_{S_0} : szubsztrát mólszáma a reakció elején

n_S : szubsztrát mólszáma a reakció végén

n_{P_0} : termék mólszáma a reakció elején

n_P : termék mólszáma a reakció végén

v_S : szubsztrát sztöchiometriai faktora

v_P : termék sztöchiometriai faktora

A reaktorok teljesítményjellemzői II.

- **produktivitás:** időegység alatt egy térfogategységnyi reaktor hasznos térfogatából előállított termék mennyisége
→ térfogati termelési sebesség
- **aktivitás:** egységnyi idő alatt, adott térfogatban képződött termék mennyiségét határozza meg
→ az enzim hatékonyságát jellemzi

$$\left[\frac{\text{g}}{\text{l} * \text{h}} \right]$$

vagy

$$\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3 * \text{h}} \right]$$

- **stabilitás**

instabil termék vagy szubsztrát esetén a tartózkodási időt a reaktorban a lehető legkisebbre kell csökkenteni

→ enzimkoncentráció növelésével érhető el

Szakaszos reaktorok

- homogén enzimrendszer
- fontos a **megfelelő keveredés** a kívánt konverzió eléréséhez, ami után leengedik és feldolgozzák a reaktor tartalmát
- könnyű a pH-szabályozás, megfelelő gázadagolás biztosítása egyszerű, jó anyagtranszport valósul meg
- a feldolgozás körülményes, az enzim elválasztása nehéz, nem lehet újra felhasználni, szennyezi a terméket
- problémát okoz a méretnövelés, a jó keveredés biztosítása, és a holtidő a sarzsok között
- ritkán alkalmazzák

Dugóáramú csőreaktorok

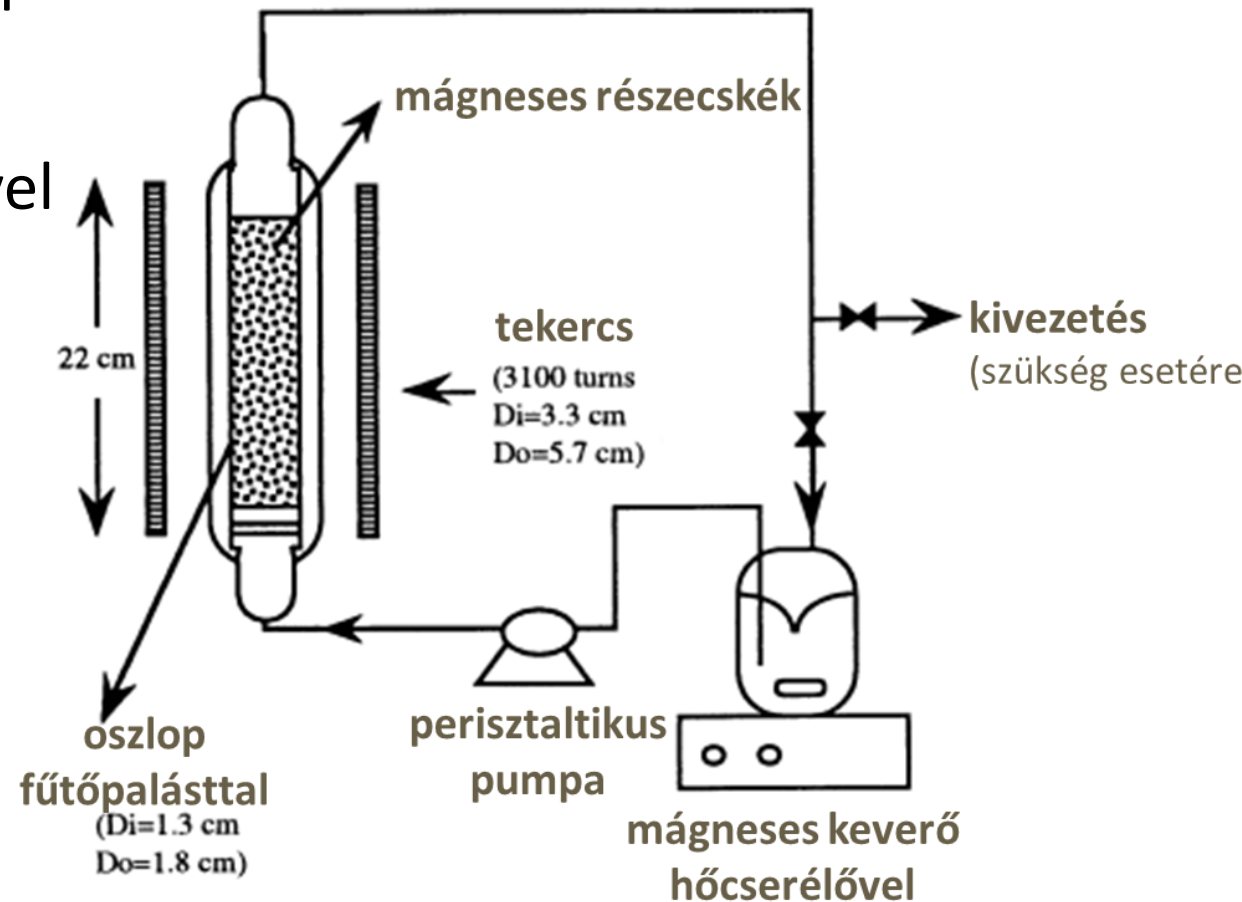
- nagy mennyiségű, **immobilizált enzimekkel** töltött oszlopok
- folytonos üzem valósítható meg
- megbízható, **állandó minőségű termék** biztosítható, ami folyamatosan távozik a rendszerből
 - alacsony termék inhibíció, de jellemző a szubsztrát inhibíció
- előfordulhat önkompresszió, nehéz sterilen működtetni, friss enzimet hozzáadni
- problémát okoz a hőmérséklet-, és a pH-szabályozása
 - a pH-szabályozása és a szubsztrát inhibíció többpontos adagolással kezelhető

Fluidágyas reaktorok I.

- **fluidizált ágyban szuszpendált enzimek**
- a keverést a szubsztrát oldat **felfelé irányuló** árama biztosítja
- nagy az üres térfogathányad, kicsi az aktivitás, nagy a szubsztrát áramlási sebessége
 - kis konverzió ellen
 - kiszélesített reaktor vég → csökken az áramlási sebesség
 - kimosódás ellen
 - szubsztrát visszavezetés
 - sorba kötött fluidágyas reaktorok
- A reaktor üzemeltetése meglehetősen **költséges**, így nem terjedt el az iparban.

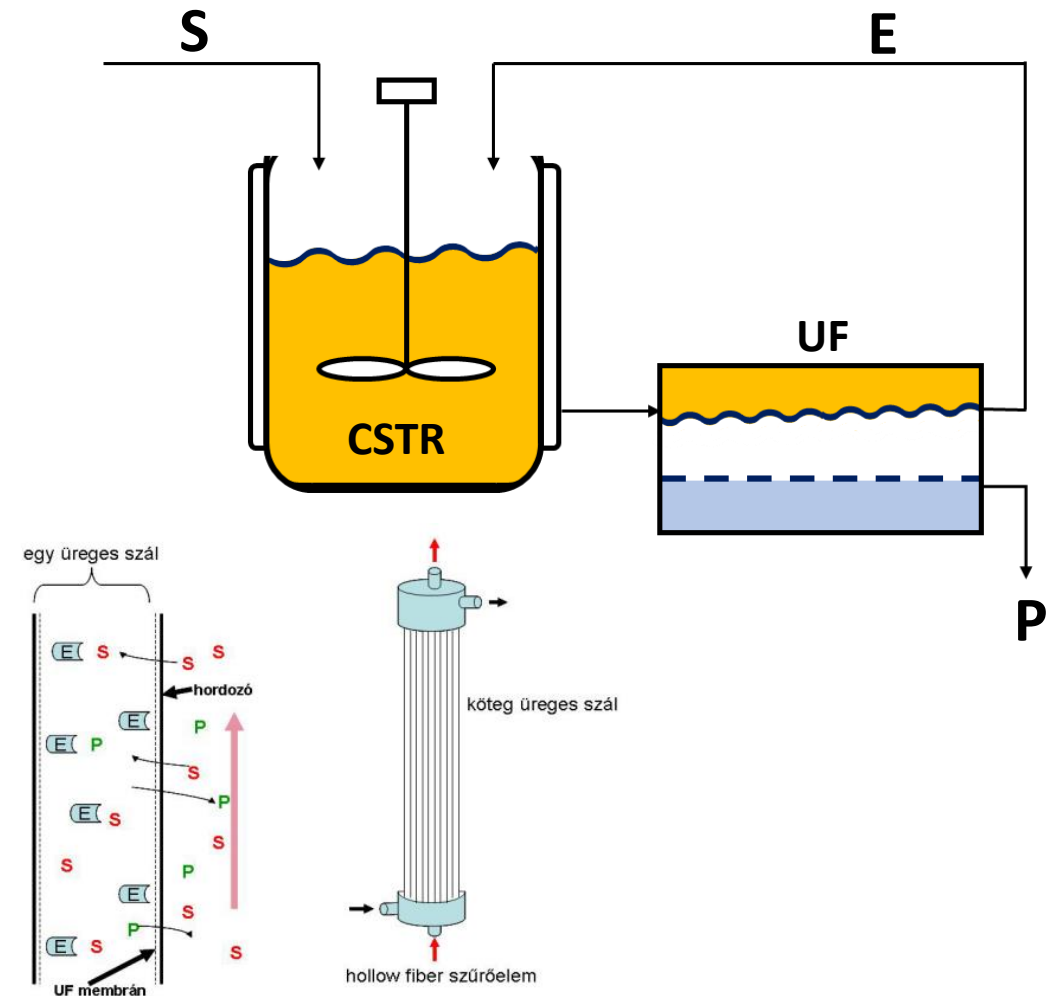
Fluidágyas reaktorok II.

- **MSFBR** (magnetically stabilized fluidized bed reactor)
- mágneses részecskékhez kötött enzim
- visszatartás elektromágneses térrel, vagy a kivezetésnél mágneses gyűrűvel
- így növelhető a konverzió



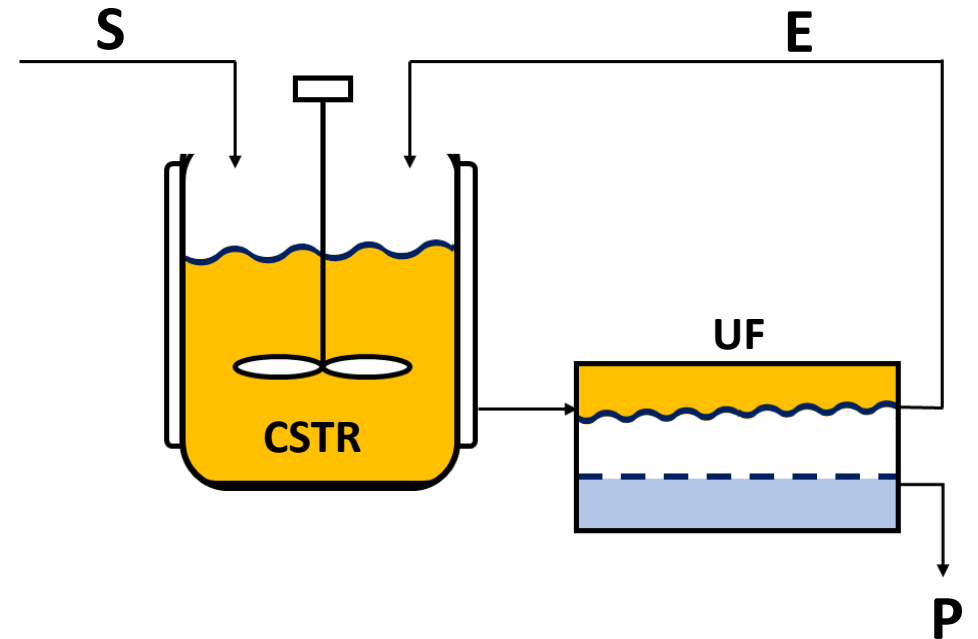
Ultraszűrő reaktorok I.

- **oldott enzimek** alkalmazása, amiket az **ultraszűrő membrán** tart vissza a reakciótérben
- tökéletes keveredés valósítható meg bennük
- A membránon nem specifikus kölcsönhatások miatt egy második réteg alakulhat ki zsír vagy kolloid részecskékből, ami befolyásolhatja az áteresztést.
- **CSTR-el és hollow fiber-rel** kapcsolt megoldás



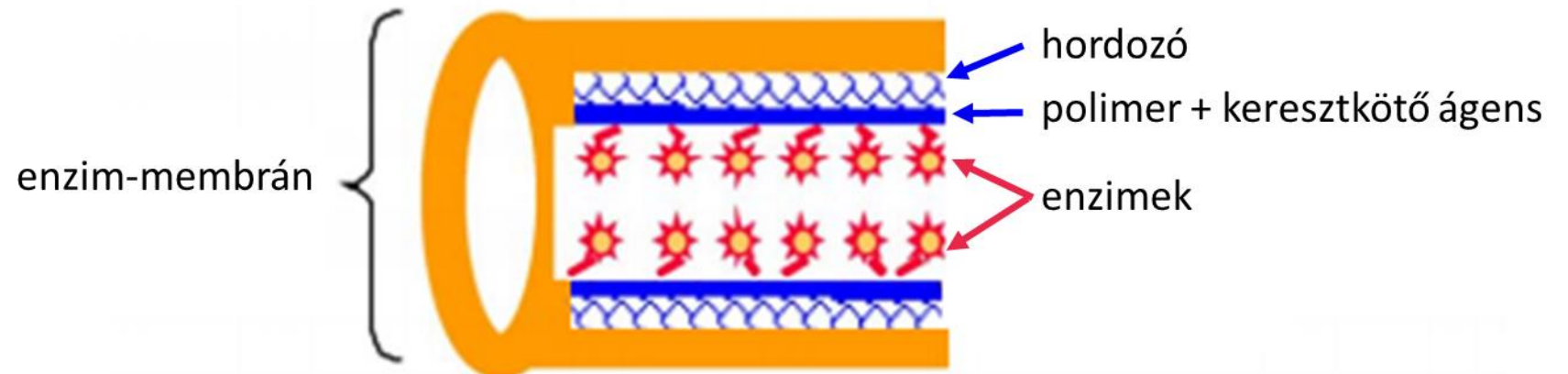
Ultraszűrő reaktorok II.

- **depolimerizációs reakciókra a legalkalmasabb**
 - nincs diffúziós gát
 - az enzim és a szubsztrát könnyebben találkozik
 - a megfelelő pórusméret választásával a membrán csak a terméket engedi át, a szubsztrátot nem
→ így elkerülhető a termék inhibíció



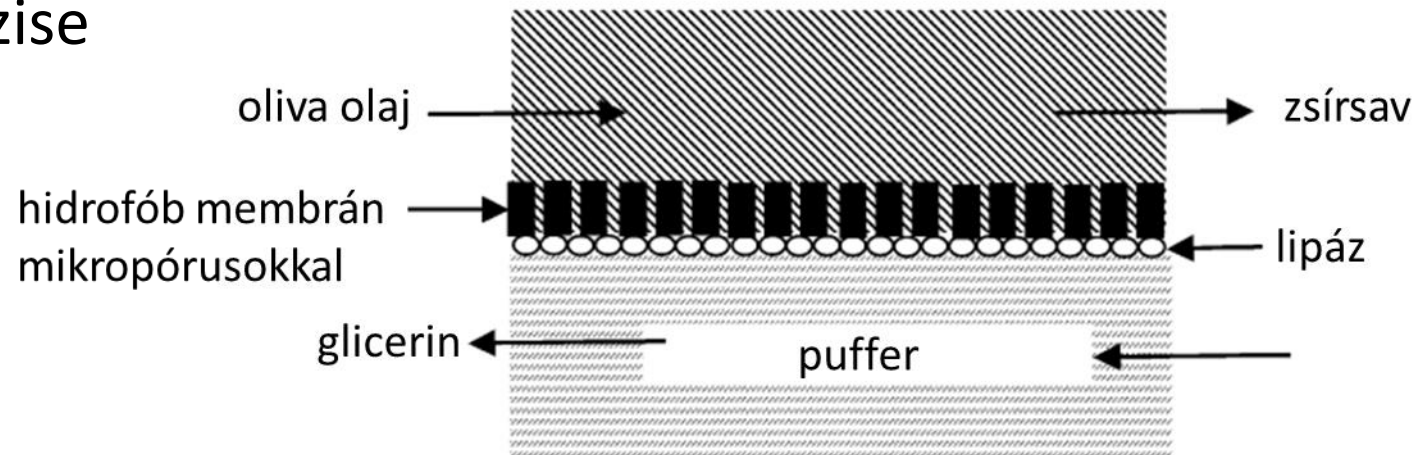
Enzim-membrán reaktorok (EMR) I.

- **membránhoz rögzített** enzimek
 - szemipermeábilis membrán
 - hordozó – pl.: kerámia
 - aktív réteg - hidrofil polimer pl.: polietilén-imin (PEI), zselatin
 - keresztkötő ágens pl.: glutáraldehid
 - aktív enzim
- hollow fiber



Enzim-membrán reaktorok (EMR) II.

- két különböző fázis elválasztása a membrán segítségével
→ **két-fázisú reaktorok**
- szerves <--> vizes
membrán nélkül nagy mennyiségű vizes fázisra lenne szükség, ami jelentősen megnehezíti és drágítja a downstream folyamatát
- hidrofób <--> hidrofil
 - pl.: lipidek hidrolízise



Kérdések:

- heterogén enzimrendszer jellemzése (előnyei, hátrányai)
- reaktorok teljesítményjellemzői
- ultraszűrő reaktor bemutatása (+rajz)

- Mik a tóruszreaktor előnyei a hagyományos kevert reaktorhoz képest?
- Mi növeli meg a kitozán gyöngyök rigiditását, és milyen következményekkel járhat ez a rigiditás növekedés?

Köszönöm a figyelmet!