Kulcs a bioreaktorokhoz

Tárgyszavak: bioreaktor; szakaszos reakció;
folyamatos reakció;
félfolyamatos reakció.

Hagyományosan a mikrobiológusok játszottak domináns szerepet a biológiai reakciók fejlesztésében a biokémikusok, genetikusok és vegyészmérnökök közreműködésével. Az utolsó fél évszázad fejlődése ugyanúgy kötődik a technológiához, mint a biológiához. A kémiai technológiai folyamatokat és gyakorlatot a mai biotechnológiai gyakorlatban egyre inkább alkalmazzák, holott ezt régen a biológusok egyedüli területének tartották.

Szoros párhuzam van a hagyományos vegyi reaktorok és a bioreaktorok között, ugyanakkor vannak olyan különbségek is, amelyeket figyelembe kell venni a biológiai reakciók eredményessége érdekében.

A távoli és a közeli múlt

Még mielőtt az emberiség megértette volna a biológiai reakciókat, már élvezte előnyeit és eredményeit. A kenyér, a sajt, a bor és a sör fermentálása ismert volt ugyan, de inkább a szerencse vezérelte mint a tervezés. Louis Pasteur francia vegyész és mikrobiológus tanulmányozta először a fermentálás folyamatát a borkereskedők felkérésére.

Pasteur megállapította, hogy a fermentálás egy mikroszkopikus növény, az élesztő biológiai aktivitásának eredménye. Ha nemkívánatos mikrobák jutnak a borba, azok rontják a bor zamatát. Pasteur munkája vezetett a ma ismeretes bioreaktorokhoz, amelyekben a folyamatok már ellenőrizhetők. A biomérnöki tevékenység a borospalack mikrobiológiájától a nagyipari méretű sör-, bor-, sajt- és tejtermelésig vezetett, és napjainkban eljutott az antibiotikumok, enzimek, szteroid hormonok, vitaminok, cukrok és szerves savak termeléséhez.

Bioreaktorok és vegyi reaktorok

A bioreaktor tágabb értelemben olyan rendszer, amelyben biológiai átalakítást végeznek. A bioreaktor definíciója ebben az esetben olyan mechanikus tartályra szűkül, amelyben

a) ellenőrzött módon organizmusokat tenyésztenek és/vagy
b) speciális reakciók segítségével anyagokat alakítanak át.

A bioreaktort úgy tervezik, hogy befolyásolni tudja a metabolikus folyamatot. A hagyományos kémiai reaktorok közül a következők alkalmazhatók bioreaktorként: folyamatosan kevert tartályok; folyamatos átfolyású, kevert reaktorok; öblítő átfolyású, kevert reaktorok, egyenként vagy sorba kapcsolva; buborékolva forró reaktorok és fluidágyas reaktorok. A bioreaktor szinonimájaként gyakran használják a fermentort, amelynek pontos definíciója cukorból alkoholtermelésre szolgáló anaerob folyamat végrehajtására alkalmas rendszer.

A bioreaktorok abban különböznek a vegyi reaktoroktól, hogy biológiai anyagokat hordoznak és folyamatokat vezérelnek, ezért nagyobb mértékű ellenőrzésre kell tervezni azokat, mivel az organizmusok sokkal érzékenyebbek és kevésbé stabilak, mint a vegyi anyagok.

Az organizmusok, morfológiájuktól függően nyírásra érzékenyek. Keverés szükséges a megfelelő hő- és tömegátvitelhez a termelés szakaszában, azonban problémát jelenthet a keverési mechanizmus és a bioreakciós közeg reológiájának szempontjából.

Másik két lényeges különbség a két reaktortípus között a szelektivitás és a sebesség. A bioreaktorokban elsőrendű fontosságú a nagy szelektivitás, mivel viszonylag bonyolult molekulák, így antibiotikumok, szteroidok, vitaminok, proteinek, cukrok és szerves savak előállításáról van szó.

A sebesség másodlagos fontosságú. Sok biológiai rendszerben inkubációs periódusra van szükség a tenyészet előállítására, amellyel beoltják a reaktort. A biológiai reakciók lehetnek rövidek, de eltarthatnak 10–20 napig is. Továbbá a bioreaktor nem teinthető izolált egységnek, hanem egy integrált rendszer egy részének, amelyben előkészítő és kinyerő egységek is vannak.

A bioreakciók termékei

A biológiai reakciók termékei három alapvető folyamatban keletkeznek.

1. Olyan folyamatok, amelyekben a terméket a sejtek állítják elő extracellulárisan (pl. alkoholok, citromsav) vagy intracellulárisan (matabolit vagy enzim). A primer metabolitok a növekedés alatt jönnek létre, és a növekedés folytatása a feladatuk. A szekunder metabolitok a növekedés befejezése után keletkeznek.
2. Sejttömeget termelő folyamatok (pl. sütőipari élesztő).
3. Olyan folyamatok, amelyek módosítják a fermentáláshoz adott vegyületet. Valamennyi típusú sejt alkalmazható bizonyos vegyületek átala

kulásának biokatalíziséhez dehidratálással, oxidációval, hidroxilezéssel, amidálással vagy izomerizálással. Szteroidok, antibiotikumok és prosztaglandinok mind előállíthatók biotranszformációval.

Fontos szempontok a bioreaktor-tervezésben és -működésben

A hatékony bioreaktor célja a biológiai reakció vezérlése, fenntartása és pozitív befolyásolása. A tervezésnél figyelembe kell venni a megfelelő paramétereket, a kívánt biológiai, kémiai és fizikai rendszer számára. Ezek:

- ellenőrzött hőmérséklet,
- optimális pH,
- elegendő szubsztrátum, rendszerint szénforrás (cukrok, proteinek, és zsírok),
- víz rendelkezésre állása,
- sók,
- vitaminok,
- oxigén (az aerob folyamatokhoz),
- gázfejlődés és
- termék és melléktermék eltávolítása.

Az alábbiak ismertetik és áttekintik a bioreaktorokat, mind a termelésre orientáltakat, mind a környezetvédelemben alkalmazottakat, ismertetik előnyeiket és hátrányaikat.

Bioreakciós/fermentációs technológiák

A bioreakció-rendszerek magukban foglalják a szakaszos, a folyamatos, a félfolyamatos, a felületi/tányéros, a merített, az air lift hurok-bioreaktor és a csepegtetőtestes készülékeket.

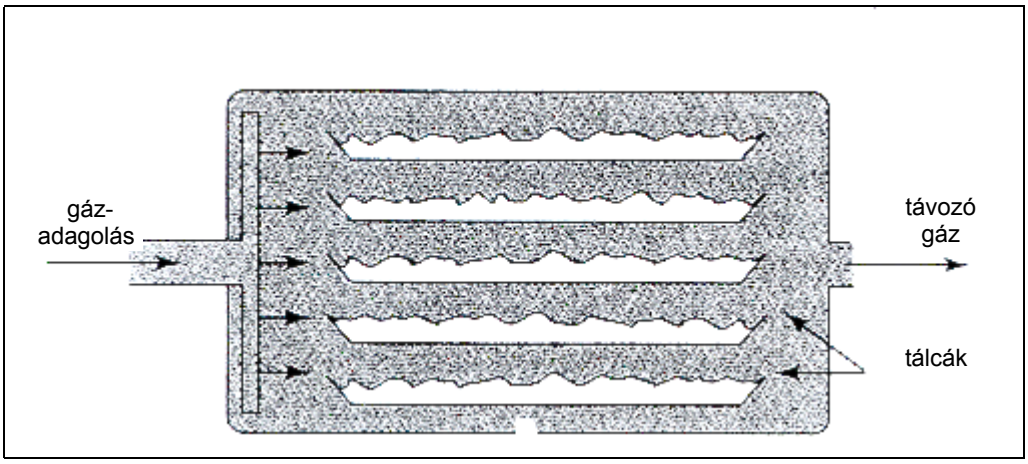
Szakaszos bioreakciók

A biológiai reakciók nagy része szakaszos. Az első lépcső a sterilezés, majd a steril táptalajt mikroorganizmusokkal beoltják. Ezalatt a sejtek, a szubsztrátum és termék koncentrációja az időben változik.

Az aerob tenyésztés elősegítésére a közeget levegőztetik a folyamatos oxigénellátás biztosítására, a keletkezett gáznemű melléktermékeket, pl. CO_2-t eltávolítják, a levegőzés és gázeltávolítás félfolyamatos. A habzás elfogadható szinten tartására habzásgátlót lehet a rendszerhez adni, ha a habérzékelő jelez.

A szakaszos készülékek egyik típusa a tálcás fermentor *(1. ábra),* amelyet az ipari bioreakciók korai szakaszában alkalmaztak citromsav és penicillin

előállítására. A rendszerben a tápközeget és az organizmusokat a tálcára helyezik, és a levegőáramlás előidézi a biológiai reakciót, mialatt a keletkezett gázokat elszívják. Amikor a reakció befejeződött, a végterméket eltávolítják a tálcákról. Mivel ezzel a technológiával nagy mennyiségek nem állíthatók elő, kialakultak a merülő tartályos rendszerek.



1. ábra A tálcás bioreaktort a tápközeggel és az organizmusokkal terhelik, majd levegőárammal megindítják a reakciót

A szakaszos biológiai rendszereknek számos előnye van:

– csökkent szennyeződés- vagy a sejtmutáció-kockázat a viszonylag rövid növekedési periódus miatt,
– kisebb beruházási költség, összehasonlítva a folyamatos eljárással,
– rugalmasabban változtatható a termék/biológiai rendszer,
– nagyobb a nyersanyag-átalakulás mértéke.

A hátrányok:

– kisebb termelékenység, figyelembe véve a járulékos műveleteket (betáplálás, fűtés, sterilezés, hűtés, leürítés és a reaktor tisztítása),
– a műszerezés fokozott figyelme a gyakori sterilezés miatt,
– nagyobb kiadás bizonyos szubkultúrák elkészítése miatt,
– nagyobb ipari higiénés kockázat patogénekkel vagy toxinokkal való érintkezés miatt.

A szakaszos reaktorok általános alkalmazási területei:

– olyan termékek gyártása, amelyeknél minimális lehet a fertőzés vagy az organizmus mutációjának veszélye,
– ahol csak kis mennyiségű terméket állítanak elő,
– ahol egy reaktorban különböző termékeket állítanak elő,
– olyan folyamatoknál, ahol a szakaszos vagy félfolyamatos termékelválasztás megfelelő.

Folyamatos bioreakciók

A folyamatos bioreakciók jellemzője, hogy a tápközeget, amely vagy steril mikroorganizmusokból áll, folyamatosan táplálják a bioreaktorba, hogy az egyensúlyi állapotot fenntartsák. Természetesen a keletkezett terméket is folyamatosan távolítják el a reaktorból, ezáltal folyamatos a termelékenység és hozam.

Ezeknek a rendszereknek számos előnyük van:

– a folyamat automatizálásának megnövekedett lehetősége,
– csökkentett költségek az automatizálás miatt,
– kevesebb a nem produktív idő, amely az ürítéssel, töltéssel és sterilezéssel telne,
– csökken a személyzet mérgezési veszélye az automatizálás következtében,
– a műszerezés kisebb igénybevétele a sterilezés elmaradása miatt.

Hátrányok:

– minimális rugalmasság, mivel a folyamatban csak csekély változtatások lehetségesek,
– a folyamat folytonosságának biztosítása érdekében a nyersanyag egyenletes minősége szükséges,
– nagyobb beruházási költségek a vezérlés és automatizálás, valamint a közeg folyamatos sterilezése miatt,
– nagyobb feldolgozási költségek az oldhatatlan, szilárd szubsztrátumok, pl. szalma újbóli betáplálása miatt,
– a fertőzés és sejtmutáció nagyobb kockázata, a viszonylag rövid tenyésztési periódus miatt.

A folyamatos biológiai reakciókat általában nagytömegű gyártásra alkalmazzák, gázt, folyékony vagy oldódó szilárd szubsztrátumot használó folyamatokban, és olyan mikroorganizmusokkal működő folyamatoknál, amelyek mutációval szemben igen stabilak. Tipikus végtermékek: ecet, sütőélesztő és kezelt szennyvíz.

Folyamatos bioreakciók a szakaszossal szemben

A folyamatos bioreakcióknak sok előnyük van a szakaszossal szemben. Elsősorban: a folyamatos reakciók könnyebben tanulmányozhatók és elemezhetők. Mivel a paraméterek nem változnak, meghatározható egy szint a folyamat eredményére (benchmark), és ezután a fizikai vagy kémiai paraméterek legkisebb változása is értékelhető.

Másodsorban: a folyamatos bioreakciók jobban ellenőrizhetők, mint a szakaszosak. A növekedési sebesség hosszú periódusra szabályozható és fenntartható. A hígítás változtatásával a biomassza-koncentráció szabályozható. A másodlagos metabolitok termelése fenntartható a növekedéssel

egyidőben. Az állandósult állapotú folyamatos bioreakciókban a kevert kultúrákat kemosztátban végzett tenyésztéssel fenn lehet tartani, nem úgy, mint a szakaszosban, ahol egyes organizmusok túlszaporodnak mások rovására. A kemosztátok folytonos átfolyású, kevert tartályos bioreaktorok (CFSTR), idealizált egyensúlyi állapotban. A kemosztátként működő bioreaktorok felhasználhatók a termofilek, az ozmotoleráns törzsek vagy a mutáns organizmusok szelektivitásának fokozására. Így a közeg összetétele optimálható a biomaszsza és termék képződéséhez, és a tápanyag közvetlenül a kemosztátba juttatható.

A harmadik előny a termék minősége. A rendszer egyensúlyi állapota miatt az eredmények megbízhatóbbak és könnyebben reprodukálhatók. Az eljárás termelékenyebb, és mivel automatizálható, kevesebb munkát igényel, ezáltal olcsóbb és kevésbé érzékeny az emberi tévedésekre.

Az előnyök mellett hátrányai is vannak, ezért bizonyos típusú bioreakciókra alkalmatlan, pl. bizonyos növekedéssel nem összefüggő termékekhez. Ezért a folyamatos bioreakciók gyakran betáplálásos, szakaszos tenyésztést és folyamatos tápanyag-adagolást igényelnek.

Másik probléma, hogy az eredeti törzs elpusztul, mivel egy gyorsabban szaporodó túlnövi. A keverék viszkozitása és heterogén volta is nehezíti a szálas organizmusok fenntartását. A hosszú növekedési periódus nemcsak a fertőzés veszélyét növeli, hanem megkívánja, hogy a bioreaktor extrém megbízható és állandó legyen.

Félfolyamatos bioreakciók

A szakaszos és a folyamatos műveletek kombinációja. Leggyakoribb formájában a reakciót szakaszos módban kezdik, amíg a növekedést korlátozó hordozó elfogy, majd hordozót adagolnak a reaktorhoz (szakaszos) vagy hosszabbított tenyésztési periódusban tartják (folyamatos). A szakaszos reaktorhoz hasonlóan a félfolyamatos reaktorok nem stacionáriusak. A rendszerek előnyei:

- nagyobb hozam a jól definiált tenyésztési periódus miatt,
- a mikroorganizmusok környezetének optimálási lehetőségei,
- közel állandó működés, így kicsi a mutáció és fertőzés kockázata.

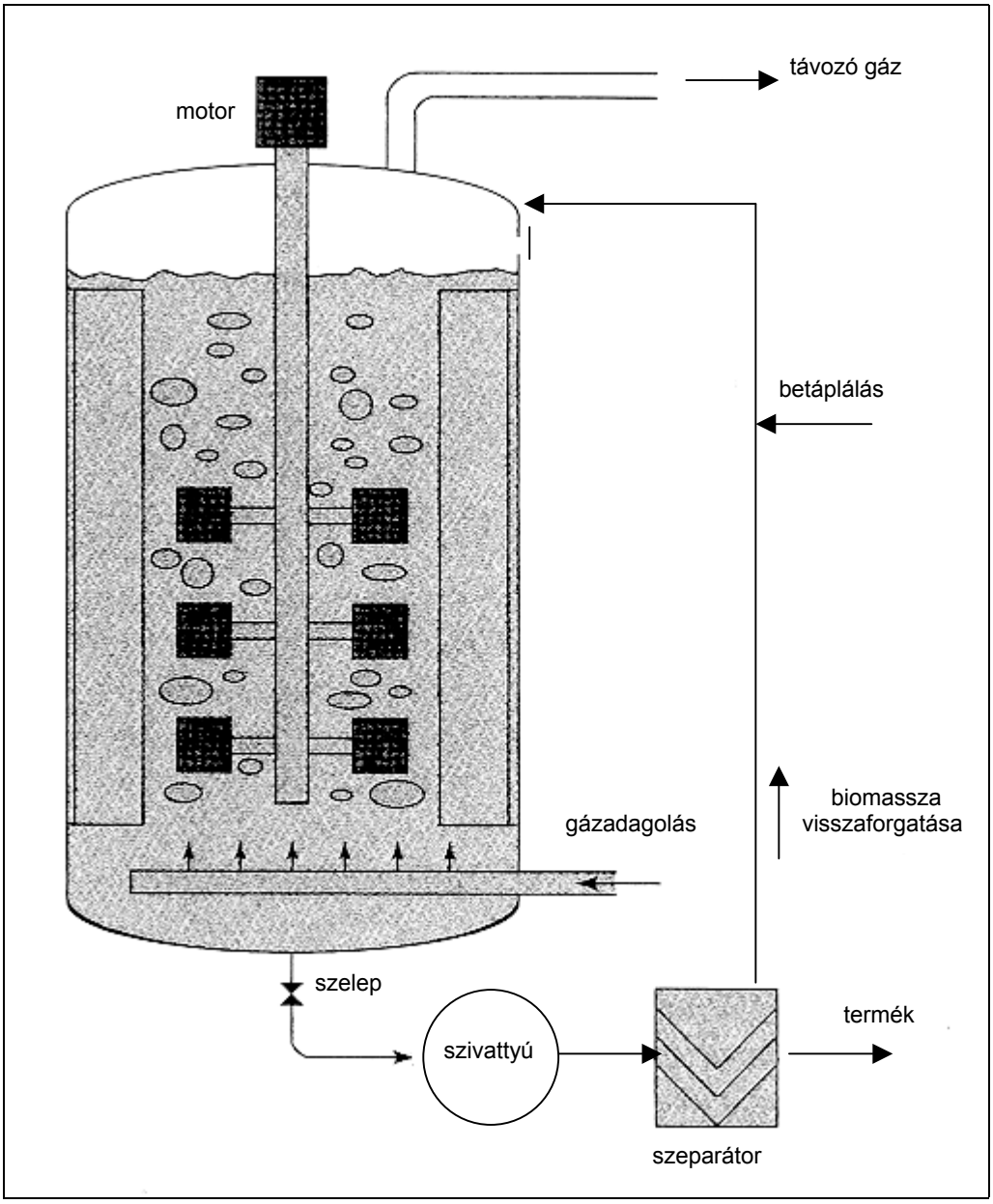
Hátrányai:

- kisebb termelékenység az időigényes tevékenységek miatt (töltés, melegítés, steriliezés, hűtés, a reaktor ürítése és tisztítása),
- nagyobb költség a munka és/vagy a folyamat ellenőrzése miatt.

A félfolyamatos bioreaktorokat olyan esetekben alkalmazzák, amikor a folyamatos módszerek nem megfelelők, pl. ahol a mikroorganizmusok mutációja vagy fertőződése kis mértékben előfordul. Az ilyen bioreatorokat akkor is alkalmazzák, ha a szakaszos módszer nem biztosítja a kívánt termelékenységet.

Merülő bioreaktorok – keverős tartályok

A legáltalánosabban használt aerob bioreaktorok a keverős tartályreaktorok, amelyek speciális cirkulációs tulajdonságokkal rendelkeznek. Beruházási és működési költségük kicsi, rendszerint rozsdamentes acélból készülnek.



2. ábra Kevert tartályos bioreaktor, ütközőlapokkal és keverővel az optimális keveredéshez és a biomassza recirkulációjához

Működési elvük viszonylag egyszerű *(2. ábra),* a steril tápközeget és az inoculumot a steril tartályba helyezik, és alulról levegőt vezetnek a tartályba. A keverőn kívül ütközőlapok segítik a tökéletes keveredést. A reakció előrehaladtával a levegőztető által szolgáltatott buborékokat a keverő megtöri. A legygyakrabban használt keverőtípus négylapátos. A keletkezett gázokat a tartály felső részén eltávolítják, a termék alul gyűlik össze, ahonnan leszívják.

A folyamatos, keverős tartályokban a szubsztrátumot folyamatosan táplálják a rendszerbe, és a terméket folyamatosan távolítják el, a termelő organizmusokat pedig visszajuttatják a tartályba. A bioreaktorok sorba vagy párhuzamosan helyezhetők el, ellenőrzött visszatáplálással.

Légsugaras (air lift) reaktorrendszerek

Toronyreaktorként is ismert reaktor, amely szívócsövet tartalmazó buborékoszlopként jellemezhető. A levegőt permetező gyűrűn táplálják be a központi szívócső alján, amely a levegő és a közeg cirkulációját szabályozza. *(3. ábra).* A levegő felfelé áramlik, a gázok az oszlop tetején távoznak. A gázmentesített folyadék lefelé áramlik, és a terméket alul eltávolítják a tartályból.

A légsugaras reaktorok előnyei:

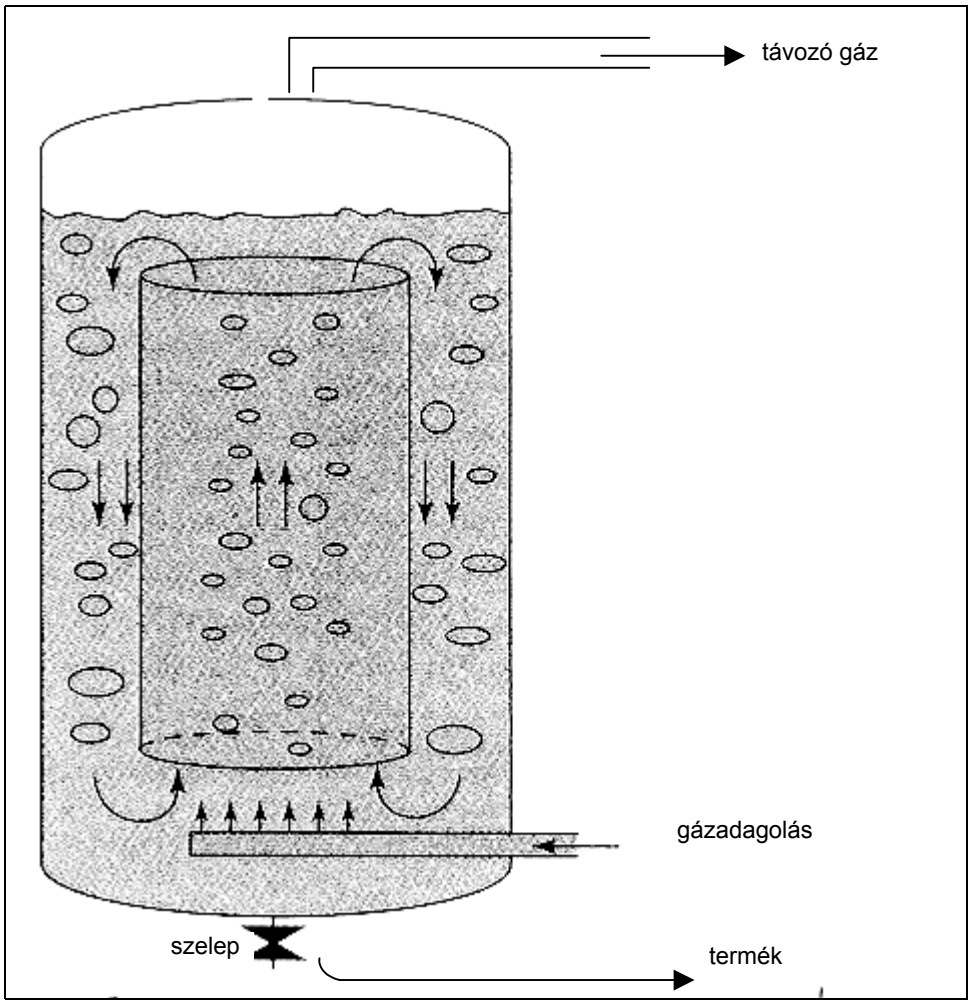
– egyszerű tervezés, mozgó részek nélkül, könnyebb karbantartás és sterilezés,
– kisebb nyírósebesség, nagyobb rugalmasság, a rendszer egyaránt alkalmazható növényi és állati sejtekhez,
– hatékony gázfejlődés,
– nagy érintkezési felület, kis energiafogyasztás,
– jól ellenőrzött áramlás és keverés,
– jól definiált tartózkodási idő valamennyi fázis számára,
– megnövekedett tömegátvitel,
– nagy térfogatú tartály alkalmazásának lehetősége,
– nagyobb hőátadás, mint a hagyományos kevert tartályokban.

Legfőbb hátrányai:

– nagyobb beruházási költség,
– nagyobb levegőfelhasználás és nagyobb nyomás,
– kis súrlódás,
– kisebb gázkompressziós hatásfok,
– lehetetlen a szubsztrátum, a tápanyag és az oxigén állandó szintjének fenntartása,
– habzás esetén nem kielégítő a gáz–folyadék elválasztás.

Ezek a hátrányok azonban a tervezéssel kiküszöbölhetők. Pl. ha csak egy betáplálási pont van, nemkívánatos melléktermékek keletkezhetnek, kicsi lesz a hozam és nagy az organizmusok pusztulásaránya. Több betáplálási pont esetén ezek a problémák megszűnnek. Hasonló kockázat jelentkezik az

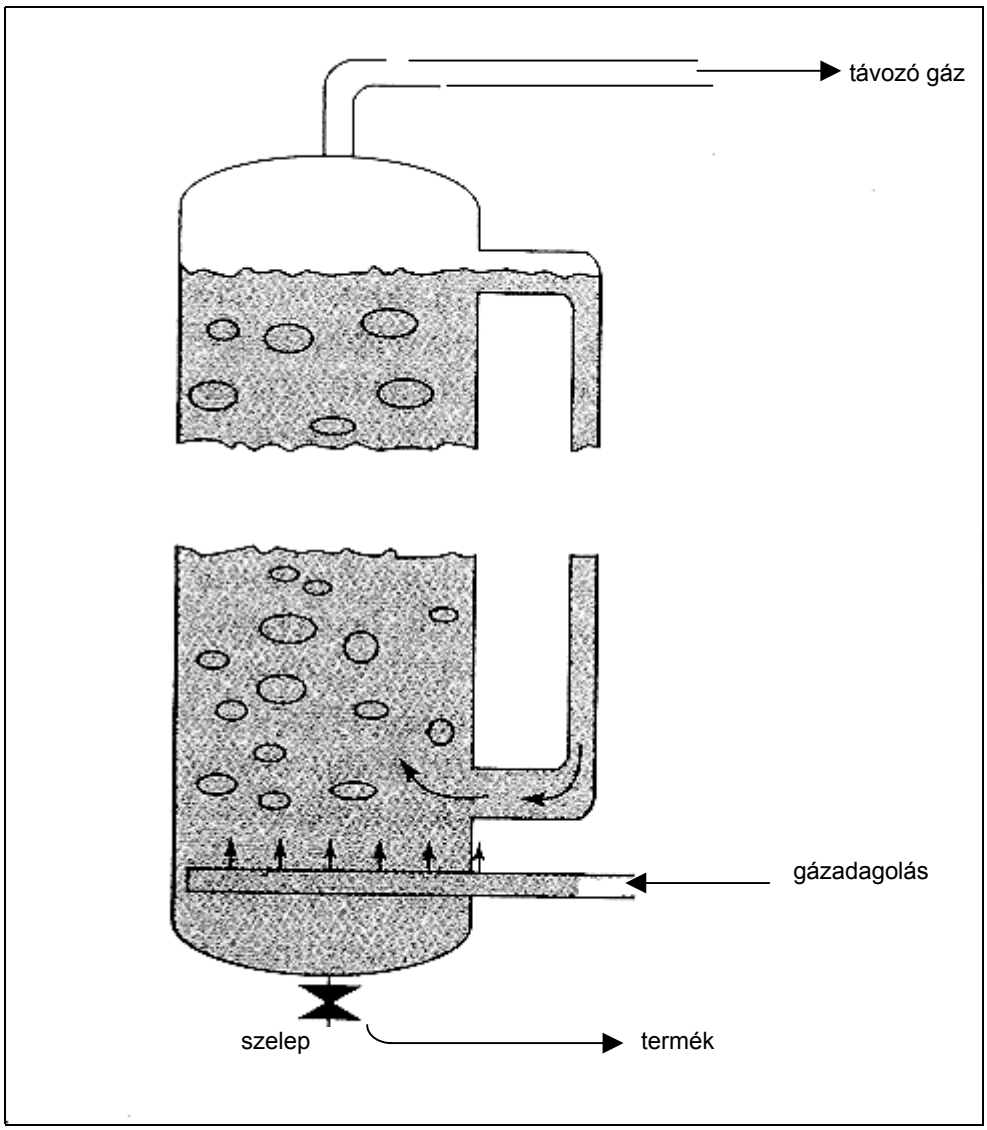
egyetlen belépési pontnál az oxigénre, amelyet a tartály különböző pontjain kell bevezetni, többségében az alján, hogy a folyadék cirkuláljon a reaktorban.



3. ábra Koncentrikus szívócsővel ellátott bioreaktor gyűrűs folyadékáramlással, ami kevesebb karbantartást igényel

Légsugaras reaktorok külső hurokkal

Másik típusú rendszer, amely külső hurokkal van ellátva (AELR) *(4. ábra),* főleg szakaszos reakciókhoz alkalmazható. Ezek a reaktorok általában keskenyebbek, mint a szokásosak, levegőt és folyadékot vezetnek át rajtuk. Felszálló csőből és külső ejtőcsőből állnak, amelyek a fenékhez, ill. a tartály tetejéhez kapcsolódnak. Az alul bejuttatott levegő a felszálló csőben gázbuborékokat kelt, felszáll a tartályban, és a tetején távozik, a nehezebb oldat az ejtőcsövön keresztül távozik.



4. ábra Légsugaras külső hurkos reaktor, amely cilrkulációt kelt és a levegőt, valamint a folyadékot átirányítja a tartályon

Az AELR előnyei a standard légsugaras berendezésekkel szemben:

– hatékony hőátvitel és hőmérséklet-szabályozás,
– a felszálló- és ejtőcső optimális hidraulikus átmérője esetén kis súrlódás,
– jól definiált tartózkodási idő,
– nagyobb lehetőség a mérésre és ellenőrzésre a felszálló- és ejtőcsőben,
– a gázbetáplálási és a folyadéksebesség független ellenőrzése a felszálló- és ejtőcső közötti fojtással.

Anaerob bioreakciók

Anaerob biológiai reakciókat pl. etanoltermelésre, bor- és sörkészítésre, valamint szennyvízkezelésre alkalmaznak. A bor, etanol és sör előállításának technológiája jól kidolgozott, beleértve a termék tökéletesítését és a termelési költségek csökkentését. A hulladékkezelés területét fejlettnek nyilvánították, így nem fordítanak nagy figyelmet az új szennyvízkezelési technológiákra.

Fejlesztés alatt álló technológiák

Egy sor új technológia áll fejlesztés alatt, egyikük az izolált enzimek alkalmazása egész sejtek helyett a kémiai átalakulás létrehozására. Előnye, hogy a folyamat nem igényli az élő sejtek speciális követelményeinek kielégítését. Viszont az enzimek is változhatnak, ezért meg kell határozni az optimális körülményeket katalitikus aktivitásuk kifejtéséhez, és az izolált enzimek drágák.

Hosszú reakcióidőkre lehet szükség, mivel a drága enzimeket csak kis koncentrációban lehet használni. Másik hátrányuk, hogy a bioreakció befejezése után az enzimet el kell távolítani a termékből.

Ezeket a nehézségeket az immobilizált enzimek alkalmazása küszöböli ki. Az enzimet ágyon vagy csőben rögzítik, és a szubsztrátum oldatát ezen áramoltatják át, hogy termékké alakuljon. Az immobiliziált rendszer tervezése és működése hasonlít a heterogén katalízist alkalmazó folyamatokhoz. A heterogén rendszerből a termék kisebb elválasztási költséggel kinyerhető, mint a megfelelő homogén rendszerekből.

Az enzim rögzítése különböző formákban és különböző hordozókon lehetséges. Az alkalmazott módszer függ az enzim jellemzőitől, a rendszertől, a hordozótól és a bioreaktorban levő folyadéktól. Az enzimet szitaszerű anyagra lehet felhordani, kapszulázható filmben, gél hordozóra vagy makropórusos ioncserélő gyantára, ill. más polimer hordozóra is felvihető.

Ezt a technológiát alkalmazza a csepegtetőtestes bioreaktor *(5. ábra),* amely szűrőt képezve az enzim megtapad rajta, ezen halad át a szubsztrátum oldata, hogy termékké alakuljon.

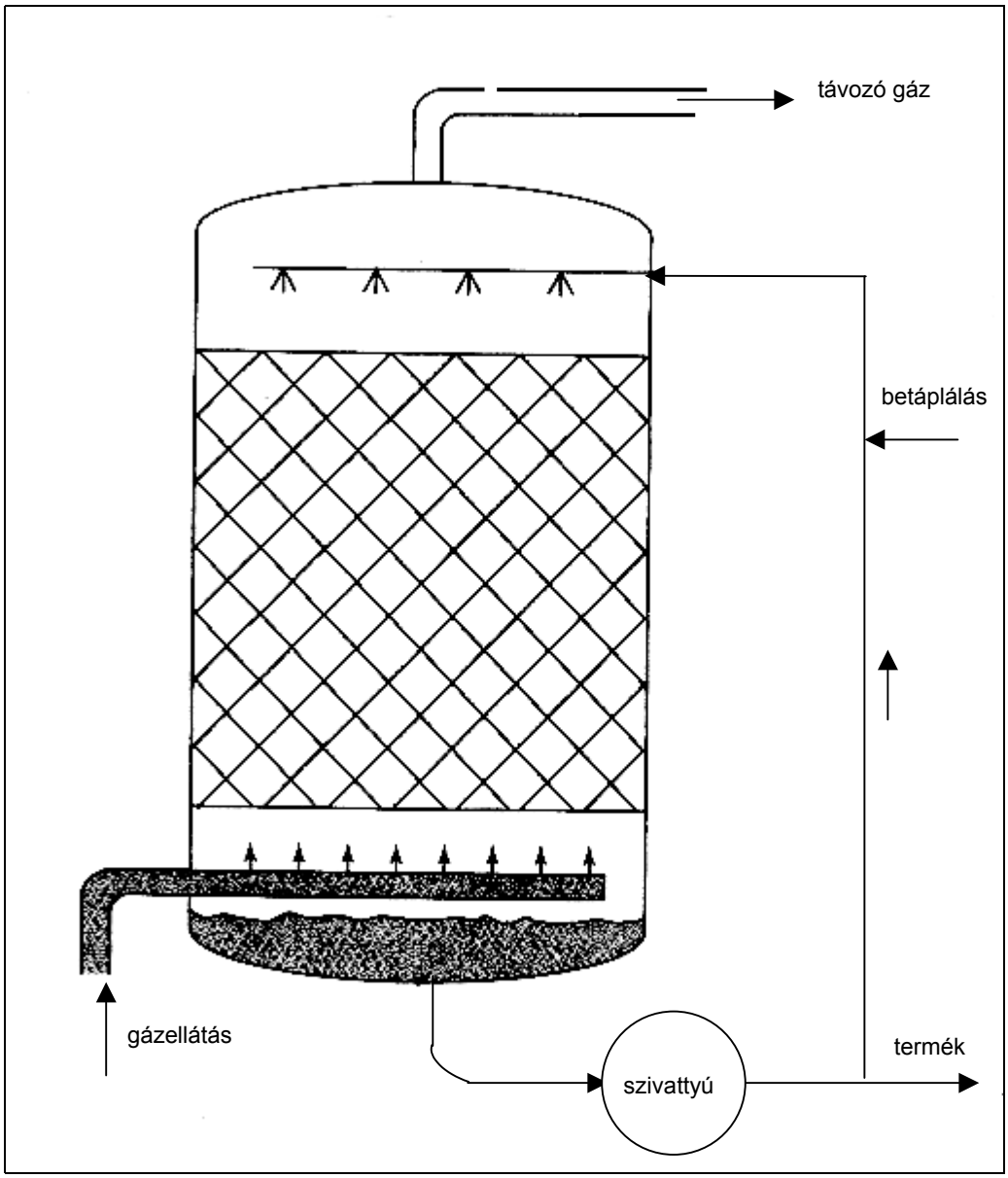
Membránokat és üreges szálakat is kipróbáltak immobilizált bioreaktorrendszerekhez. Etanolt már előállítottak rögzített ágyas és membránreaktorban.

A glükóz izomerizációja fruktózzá már ipari folyamat, nagy fruktóztartalmú gabonaszirup (HFCS) előállítására.

Összefoglalás

A bioreaktor helyes megválasztása és tervezése meghatározza az optimális ipari biológiai folyamatot és a megfelelő beruházási összeget. A

bioreaktor nem elszigetelt egység, hanem integrált része a termelésnek és az elválasztásnak.



5. ábra A csepegtetőtest odatapadt, immobilizált enzimeket használ

(Szobor Albertné)

Williams, J.: Keys to bioreactor selection. = Chemical Engineering Progress, 98. k. 3. sz. 2002. p. 34–41.

Krzystek, L.; Ledakowicz, S. stb.: Degradation of household biowaste in reactors. = Journal of Biotechnology, 92. k. 2. sz. 2001. dec. 28. p. 103–112.

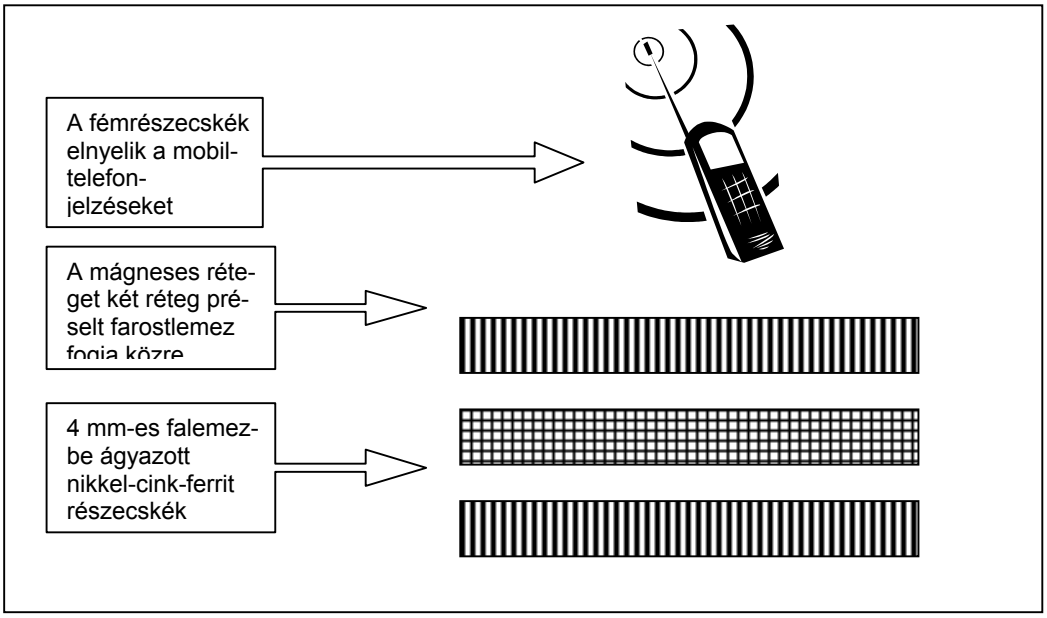
Szemle

Kapcsolja ki a telefonját, vagy mi tesszük meg!

Mobilszűrés mágneses fával

A „mágneses fa” nagy előrelépést jelent a zajos mobilhasználók megfékezésében. Ez az új technológiával előállított anyag elnyeli a mikrohullámú rádiójeleket. Amelyik szobát ezzel szigetelik, abban lehetetlenné válik a mobiltelefonálás, és természetesen a rádióhallgatás is. Így például színházakban vagy éttermekben ki lehet küszöbölni a zavaró hívásjelzéseket, adászavarók használata nélkül, melyek számos országban illegálisnak minősülnek, többek között az Egyesült Államok több államában, Nagy Britanniában és Ausztráliában is. További problémát jelent az adászavaróknál, hogy az ezekkel védett épületeken kívül is zavarokat okozhatnak a mobiltelefonálásban.

A japán fejlesztők – Hideo Oka és csapata – azért választották a fát, mert természetes és könnyen illeszthető a belső építészeti kialakításokba. Míg a normál fa átengedi a rádióhullámokat, az Oka-féle mágneses fa nem, mivel ebbe egy nikkel-cink-ferrit réteget helyeztek *(1. ábra).*



1. ábra A mobiltelefon-szűrő szendvics

A találmány további hasznosítási lehetőségeket rejt, hisz számos japán városban működnek vezeték nélküli számítógépes hálózatok. Ha több ilyen hálózat működik egymás közelében, akkor azok zavarhatják egymást. Mágneses fával a házak különböző részekre oszthatók, így több rendszer is megfér egymás közelében.

Oka bízik benne, hogy találmányuk hamarosan elég olcsó lesz a piacra kerüléshez. Távlati célok között szerepel a hulladékok (mágneses anyagok, fa) újrahasznosításával készülő panelek gyártása is.

(New Scientist, 174. k. 2349. sz. 2002. jún. 29. p. 20.)

1. ábra A keskeny pezsgős, a bordeaux-is és a martinis pohár

Nem mindegy, miből iszunk!

A pohár alakja befolyásolja a bor vegyi összetételét

Régen tudott dolog, hogy nem mindegy, mit miből iszunk. A pohár alakjától függ, hogy milyen közel kerül az orrunk az italhoz, illetve hogy az aromatikus összetevők milyen hamar tudnak elillanni. Kari Russell a Tenessee Egyetemről azt vizsgálta, vajon hatással van-e a pohár formája a bor vegyi összetételére is.

Három különböző alakú pohárba töltött Merlot-t és mindegyiknél megmérte a fenol-vegyületek koncentrációját *(1. ábra)*. A fenolok gyűrűs vegyületek, melyek hidroxilgyököket tartalmaznak és mint antioxidánsok felelősek lehetnek a mérsékelt vörösborfogyasztás egészséges voltáért.

Miután kitöltötték a bort, a galluszsav nevű fenolos vegyület koncentrációja megnőtt, feltételezhetően azért, mert az öntés olyan reakciót indított el, melynek során a gallotannin galluszsavvá alakul a borban. Ám, míg a pezsgős és a martinis pohárban 10-20 perccel később is magas marad a galluszsav koncentrációja, a bordeaux-isban lecsökken.

Russell úgy véli, hogy a bordeaux-is pohárban nagyobb felületen érintkezik a bor a levegővel. Az oxigén hatására a galluszsavból katechin-gallát keletkezik. Emiatt a vegyület miatt érezzük száraznak a bort. Érdekes módon más fenolos vegyületeknél nem mutatható ki a pohár alakjának szerepe.

Kísérletet folytattak azzal is, vajon van-e érezhető különbség a bor ízében is. A kísérleti alanyok az egyetemről kerültek ki, többségükben hallgatók voltak. A megkérdezettek szinte mindegyike azt állította, hogy nem lehet különbséget tenni a borok ízében. Egyedül egy idős professzor állította ennek az ellenkezőjét.

(NewScientist.com, 2002. aug. 28.
http://www.newscientist.com/news/news.jsp?id=ns99992733