

Fototróf mikroorganizmusok energiatermelési rendszerei (a fotobioreaktorok csoportosítása)

Kiss Csongor Gábor

Debreceni Egyetem

Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma,
Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási
Kar, Földhasznosítási, Műszaki és Területfejlesztési Intézet,

Debrecen

kisscs@agr.unideb.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

Az alternatív energiaforrások területén manapság egyre inkább felerősödött az a vita, amely a környezetre, gazdaságra gyakorolt hatásainak előnyeit és hátrányait hasonlítja össze. Sorra születnek az egymásnak ellentmondó vélemények, tanulmányok. A bioenergia alapanyagai iránt folyamatosan növekszik a kereslet, de sokan környezetvédelmi aggályokat hangoztatnak az energiaültetvények következményeinek kapcsán. A különböző energiaültetvények növényeiből (repce, pálmaolaj, szója, cukornád, stb.) olyan jelentős területeket kellene beültetni, hogy az már veszélyeztetné a mezőgazdaság élelmiszertermelő kapacitását. Valószínűleg az egyre terebélyesedő energiaültetvények szerepet játszanak a mai élelmiszerárak növekedésében is. Bizonyos országokban törvény tiltja az alapvetően élelmiszernövények energetikai felhasználását, Kínában például kukoricából tilos üzemanyagot gyártani. A kukoricából készülő bioetanol esetében ráadásul az előállítási költségek hatvan százalékát magának a kukoricának a termesztése teszik ki, ami jelentősen befolyásolja az energia-előállítás gazdaságosságát.

A mikroalgák hatalmas biotechnológiai potenciállal rendelkeznek, előállításuk jelentősen olcsóbb, mint a hagyományosan mezőgazdasági termelésre szánt terményeké. Már korunk ipari termelésének is jelentős hányadában veszik ki a részüket alapanyagként olyan területeken, mint az élelmiszer-gyártás, kozmetikumok előállítása, a gyógyszer-gyártás, valamint a biotechnológiai, ezen belül is elsősorban bioenergia-előállítási folyamatokban. A gazdaságosság terén itt is az egyik legfontosabb szempont a műszaki és technológiai kivitelezés formája. A jövőbeli nagyüzemi termelés esetén a zárt típusú rendszerek ígéretesebbnek tűnnek a nyitott, tavi kultúráknál. A nagy értékű termékek előállításához a zárt rendszerű, jobban fejleszthető fotobioreaktorok tűnnek jövedelmezőbbnek, amelyek nagyon változatosak lehetnek a műszaki kivitelezés formájától függően.

Kulcsszavak: fotobioreaktorok, alga, megújuló energia-termelés

SUMMARY

In the field of alternative energy sources there is an argue in the comparison of its effects on the benefits and disadvantages to the economics and the environment. New studies are born which are in contradiction with each other. The demand for bioenergy feedstock is growing rapidly however there are the environmental problems caused by the extending energy crop plantations. There is such a significant need for land to grow traditional energy crops on (rape, soy, palm-oil, sugarcane, etc.) that the food purpose agricultural capacity could be in danger. Probably the extensively growing energy crops play a role in the very high prices of food.

In some countries like China for example laws prohibit the use of food based crops such as corn for energie production. In the case of corn based ethanol production the cost only for the feedstock itself is over 60% of the whole preparation costs which significantly effects the entire economy of the energy productions process.

The microalgae however have a huge biotechnological potential and their production is notably cheaper then the traditionally grown food crops growing expenses. They play a significant role as feedstocks in today's industrial production in such fields as comestible production, cosmetics, pharmaceuticals and biotechnology especially in biofuel production. In the field of economy the major aspects here are also the technological designs and the construction. For the future industrial production the closed type systems seem to have more advantages compared to the open, pond-type systems. For high value material production the more innovative and more easily developed closed photobioreactors are the profitable regardless the vast technological designs used in the construction.

Keywords: photobioreactors, algae, renewable energie production

A fosszilis energiahordozók (kőszén, kőolaj, földgáz) a nem megújuló energiaforrások körébe tartoznak. Azokat a készleteket, amelyek több százmillió év alatt halmozódtak fel, az emberiség néhány száz év alatt felemészti. A kőszén ipari méretekben mintegy 400 éve, a kőolajat 100 éve használják. Számítások szerint a kőszénkészletek még néhány száz évig (250-300 év), a kőolajkészletek 30-50 évig, a földgázkészletek pedig 50-70 évig biztosítják a világ energiaszükségletét. Ezt követően a nukleáris energia mellett a megújuló energiaforrások (bio-, szél-, víz-, napenergia) használatára kell támaszkodnunk. Az IEA (Nemzetközi Energiahivatal) és az OECD (Gazdasági Együttműködési és Fejlesztési Szervezet) tanulmányának a fenntartható fejlődésre vonatkozó forgatókönyve az energiafelhasználás fejlődését vetíti előre, a népesség számának a mai 6,5-6,7 milliárdról a 2050-re becsült 8,7 milliárdra történő növekedése mellett (IEA/OECD, 2003). Az energia iránti növekvő igények kielégítésre a jelenleg használt összes fajta energiahordozó részesedését fokozni kell. 2030 után, amikor a fosszilis tüzelőanyagok részesedése várhatóan csökkenni fog (kőszén: 250-300 év, kőolaj: 30-50 év, földgáz: 50-70 év), a nukleáris, a biomassza és az egyéb megújuló (nap, víz, szél, geotermikus, stb.) energiaforrásokat egyre

nagyobb mértékben kell majd kiaknázni. Ezekhez az adatokhoz azonban szorosan illeszkedik még az EU legutóbbi ambiciózus terve, hogy 2020-ra a CO₂-kibocsátást 20%-kal az 1990-es szint alá kell csökkenteni a jelenlegi klímaváltozás mértékének lassítása érdekében. Az emberiség jelenlegi hozzáállásával és függőségével a fosszilis energiahordozókhoz ez nehezen képzelhető el. Annak érdekében, hogy kielégíthessük a népességnövekedés okozta egyre növekvő energiaigényt, hogy elérjük az EU-nak a CO₂ csökkentésére vonatkozó legutóbbi céljait, továbbá, hogy elkerüljük a katasztrófával fenyegető klímaváltozásokat, a megújuló energiaforrásokat, és ezen belül a biomasszából nyert energiát is nagyobb arányban kell felhasználnunk a jövőben.

A következő, pontokba szedett mérföldkövek, amelyeket az EU már elfogadott a megújuló energiaforrások és bioüzemanyagok felhasználásával kapcsolatban, reményt keltenek a jövőbeli széleskörű elterjedésüknek.

- 2008. december: Az EU vezetői megállapodást kötnek egy megújuló energiáról szóló javított irányelvről. A természetes üzemanyagok részesedésére 2020-ra 10 százalékos célt határoznak meg (EurActiv.hu 2008.12.08.).
- 2010 december 5.: A megújuló energiaforrásokról szóló direktíva adoptálásának határideje minden EU-tagállamra nézve. Az üvegházhatást okozó gázok megújuló energiaforrások általi csökkentése el kell, hogy érje a 35%-os értéket.
- 2012: Az EU országok bemutatják az első jelentést a bioüzemanyagok fenntarthatóságát illető nemzeti intézkedésekről.
- 2014. decemberig: A Bizottság felülvizsgálja az üvegházhatást okozó gázok kibocsátás csökkentésének küszöbértékeit a már meglévő technológiák figyelembevételével.
- 2017: Az üvegházhatást okozó gázok megújuló energiaforrások általi csökkentése el kell, hogy érje az 50%-ot.
- 2018: Az üvegházhatást okozó gázok megújuló energiaforrások általi csökkentése el kell, hogy érje a 60%-ot.
- 2020: A szállítási szektor igényének 10%-át megújuló energiaforrásokból kell fedezni, beleértve a fenntartható bioüzemanyagokat (bioetanol, biodízel, H₂, ezek keverékei, stb.) (www.euractiv.hu).

Egyelőre még kérdéses, hogy a bioenergia szektoron belül az alga milyen nagyságrendben lesz képes kiváltani a hagyományos energiahordozókat, az azonban látható, hogy a fosszilis energiahordozókból nyert üzemanyagok mind-mind jól helyettesíthetők néhány kisebb műszaki változtatás után a megfelelő biomasszából nyert bioüzemanyagokkal (gázolaj=biodízel, benzin=bioetanol, földgáz=biogáz vagy H₂). Az algákból ugyanis fotobioreaktorok segítségével a biodízel mellett bioetanol és egyéb termékek is előállíthatóak, segítségével hidrogén is jó határfokkal termelhető, amely térhódításának sokan

szintén nagy karriert jósolnak alternatív üzemanyagforrásként.

A makro- és mikroalgák egyaránt komoly szerepet töltenek be a világgazdaság alakulásában a hozzávetőlegesen 5 milliárd dolláros éves részesedésükkel. A mikroalgák több szempontból is igen értékes és egyedülálló mikroorganizmusok, mivel általuk valósul meg a földi CO₂/O₂ csere meghatározó része, valamint ezek az algák, amelyek egyébként a legváltozatosabb ökológiai csoportot alkotó szervezetek, felelősek a primer biomassza termelésének legjelentősebb részéért. A tipikus mezőgazdasági nyersanyagokkal szemben az algatelepnek megvan az az előnye, hogy évente nem csak egyszer lehet learatni a termést (pl. szója, kukorica, napraforgó, stb.), hanem gyors szaporodása miatt gyakorlatilag folyamatosan munkára fogható bioüzemanyag előállításának során. Az algatelepek előállítása és fenntartása sem olyan költséges, mint a hagyományos alapanyagok esetében, ugyanis az algák meglehetősen igénytelenek a környezeti tényezőkkel szemben. Olyan területekre is telepíthetők, amelyek gyenge minőségük miatt mezőgazdasági művelésre alkalmatlanok. Az öntözővíznek sem kell tisztának lennie. Friss víz helyett tenger- vagy szennyvíz is alkalmazható. Ily módon az élelmiszer alapanyagoktól nem veszik el sem a területet, sem a vizet. Az algából készült üzemanyag, más néven „oilgae” harmadik generációs bioüzemanyag. A második generációs bioüzemanyagokhoz képest az alga sokkal nagyobb hozamú, és jobban ellenállóbb is (Kiss, 2009).

A mikroalga alapú biomassza leghatásosabb biotechnológiai termelésének kidolgozása alapvetően kulcsterülete a jövőben általuk elért sikerek mértékének. Fotobioreaktoroknak nevezzük a fototróf mikroorganizmusok termeléséhez használt műszaki berendezéseket, amelyeket a mikroalgák környezetnek való kitettsége alapján lehet csoportosítani nyitott, illetve zárt rendszerekké.

A nyílt típusú rendszereket természetes vizekre (tavak, lagúnák, stb.) és mesterséges tavakra vagy konténerekre lehet tagolni, amelyekre jellemző, hogy kialakításuktól függően nagyon változatos méretűek és alakúak lehetnek.

A technikai bonyolultságtól függően a nyitott tavak, mint például a széles körben elterjedt ún. „versenypálya” („raceway”) tavak jelentős mértékben eltérhetnek egymástól, de még így is sokkal egyszerűbbek, mint a manapság még csak elterjedőben lévő zárt rendszerű fotobioreaktorok. A zárt típusú fotobioreaktorok általában csöves szerkezetűek, amelyekben eltérő alakú, méretű és átlátszóságú csöveket használnak. A biomassza leghatékonyabb növekedésének eléréséhez minden esetben a két kulcsterületet kell optimalizálni, vagyis a megfelelő fény- és áramlási viszonyokat kell megteremteni (Pulz, 2001).

A mikroalgák az élettani alkalmazkodóképességük és ökológiai változatosságuk miatt szinte minden biotópban megtalálhatóak és jól termeszthetők. A műszaki megoldások szerteágazó

rendszerében alapvetően különbséget kell tenni a környezetnek való kitettség formáját illetően. Megkülönböztetünk nyitott tavakat, amelyek teljes egészében nyitottak és érintkeznek a levegővel, és zárt rendszerű fotobioreaktorokat. Mindkét típusú rendszerben közös tulajdonság az, hogy a fényenergia bejuttatása az algákkal teli diszperzióba kulcsfontosságú szereppel bír.

Nyitott fotobioreaktorok: A nyitott tavak hasonlítanak leginkább a mikroalgák természetes miliójéhez. Alakjuk, méretük és anyaguk igen változatos, gyakran a tervezésüket a helyi adottságok és a rendelkezésre álló anyagok határozzák meg. A medence tartósságát és hatékonyságát az építéséhez felhasznált anyagok nagyban meghatározzák.

Az esetleges alakbeli különbségek ellenére a leggyakrabban használt nyílt típusú fotobioreaktor a bizonyos versenypálya típusú kultivátor, amelyek áramlatosságát lapátkerek felszerelésével érik el, és 15-20 cm-nél általában sekélyebb a vízmélységük. Az ilyen tavakat zárt, önmagukba visszatérő csatornákkal alakítják ki, ahol a csatornák kanyarulataiba terelő lemezeket helyeznek, megteremtve ezáltal a megfelelő áramlási feltételeket.

Ilyen paraméterekkel a biomassa koncentrációja elérheti az 1000 mg/L-t, és a produktivitás mértéke akár a 60-100 mg/(L nap⁻¹)-at is meghaladhatja.

A nyitott tavak legnagyobb hátrányai közé tartozik, hogy jelentős a párolgás mértéke, fölös CO₂ távozik a légkörbe, a telep könnyen szennyeződik, esetenként megfertőződhet az algatenyészet, más káros törzsszel. További hátrányok közé sorolható a nyitott rendszerek viszonylag nagy helyigénye. A termelékenység fő problémája ebben az esetben a fény limitáció, amelyet a viszonylag mély (akár 30 cm-es) csatorna jelent. Ez azonban kiküszöbölhető, ha a csatorna mélységét cm-es vagy néhány mm-es mélységűre csökkentik, és lejtős szerkezetűre tervezik, amely módon növelhető a fényintenzitás mértéke. A másik jelentős probléma a nyílt rendszerek fenntartását illetően az, hogy a megfertőződés veszélyének elkerülése miatt csak extrém körülményeket tűrő (pl. extrém hőmérséklet, pH, sókoncentráció, stb.) algafajtákat érdemes telepíteni beléjük. A nagyméretű nyitott medence előnye, hogy egyszerűbb és olcsóbb megépíteni és üzemeltetni, mint a nagyméretű zárt fotobioreaktorokat. További típusok a nyitott fotobioreaktorok csoportján belül a lejtős rendszerű és a kerek medencék. A lejtős rendszerű medencék esetében a gravitáció biztosítja a keverési feltételek megvalósulását, esetenként pumpák rásegítésével, ha a lejtő szöge nem elég nagy. A kerek medencéknél a keverést egy a medence átmérőjéhez hasonló forgó kar biztosítja. Ez a típus Ázsiában és Ukrajna területén terjedt el inkább.

A közelmúltban ezek a típusú rendszerek terjedtek el nagyobb számban az egyszerűségük és olcsóságuk miatt, azonban a mai igények kielégítésére inkább a zárt rendszerű ipari léptékű fotobioreaktorok kezdenek elterjedni.

Zárt fotobioreaktorok: Fototróf mikroorganizmusok számára olyan tenyésztő rendszerek, amelyben a fény áthatolva a reaktor átlátszó falán éri el a sejteket, így nem csak közvetlenül a tenyészet felszínén hat. A zárt típusú fotobioreaktorok megakadályozzák a környezet közötti közvetlen gázcserét, így minimálisra csökken a tenyészet szennyeződésének a kockázata is (por, más mikroorganizmusok). A zárt rendszerekre jellemző, hogy nincs CO₂ veszteség, az áramlási és hőmérsékleti feltételek szabályozhatók, ezáltal ideálisan reprodukálhatóak benne a különböző tenyésztési körülmények. A kezdeti első generációs zárt fotobioreaktorokban (tartályok, felfüggesztett műanyag zsákok) való termesztés akadályba ütközött, ugyanis 50-100 liter feletti űrtartalomnál már limitáló tényezőként jelentkezett, hogy a fény nem tudott megfelelően behatolni a rendszer belsejébe, meggátolva a sikeres biomassza termesztést. Ennek a problémának a kiküszöbölésére számos technikai megközelítéssel próbálkoztak, mint a víz alatti lámpa bevezetése, vagy a világító optikai szálak használata, de ezek a próbálkozások nem vezettek eredményre a gyakorlatban, mivel túl költségessé tették a termelést (Pulz, 2001).

A zárt fotobioreaktoroknak jelenleg a következő csoportjait ismerjük: (1.) csöves szerkezetűek, (2.) lemez vagy sík formájú reaktorok, (3.) fermentor típusú reaktorok. A fényintenzitás megfelelő kihasználása és a jó áramlási viszonyok megteremtése érdekében a vízszintes csövek vagy lemezek egymásra való függőleges elrendezése tűnik a gazdaságosság szempontjából a legcélravezetőbbnek. További fontos szerephez juthat a finomhangolás területén az algatörzs specifikus fényforrások beépítése, a fotobioreaktor rétegvastagságának megfelelő beállítása, az ideális turbulencia megteremtése és az O₂ kivezetése a rendszerből. A zárt rendszerű fotobioreaktorok már megjelentek az ipari termelés színterén is. Feltételezve, hogy az algák által végzett fotoszintézisen alapuló termelés a fényintenzitás mértékével és idejével egy bizonyos határig növelhető, első lépésként a fényforrásnak kitett felületet kell megnagyobbítani vagy redőzött szerkezetűvé alakítani. A mikroalgák esetében ezt ki lehet egészíteni azzal, hogy csökkentjük a szuszpenzió számára a nettó fényenergia ellátást, mivel ezeknek a szervezeteknek jelentősen kisebb a telítettségi pontjuk is. Csöves vagy sík, tányérszerű fotobioreaktorok esetében a laminális szerkezet alkalmazásának az alapelve a magasabb rendű növények levélszerkezetéből ered. Például egy 100 éves, 10 méter magas hársfa esetében a lombzat valódi felülete több mint 2500 m², amíg a fa árnyékolási felülete csak 100 m². A zárt fotobioreaktorok jövője tehát a nagyon vékony keresztmetszetű csöves és redőzött felszínű szerkezetek tervezésének az irányába mutat, de ugyanolyan jól alkalmazható a redőzött felszín a vékony falú lemez formájú berendezéseknél is (Pulz, 2001).

Zárt fotobioreaktorok csoportosítása műszaki kivitelezés szerint:

1. Csöves szerkezetű fotobioreaktor
 - a) függőleges csöves szerkezetű (1. ábra),
 - b) vízszintes csöves szerkezetű (2. ábra),
 - c) spirális csöves szerkezetű,
 - d) α -alakú reaktor.
2. Sík vagy lemez reaktor (3. ábra).
3. Fermentor típusú reaktor.

1. ábra: Vertikális csöves szerkezetű zárt fotobioreaktor



Forrás: A szerző saját felvételei a Karlsruhei Egyetem Biotechnológiai Tanszékről

Figure 1: Vertical tubular closed photobioreactor at the University of Karlsruhe

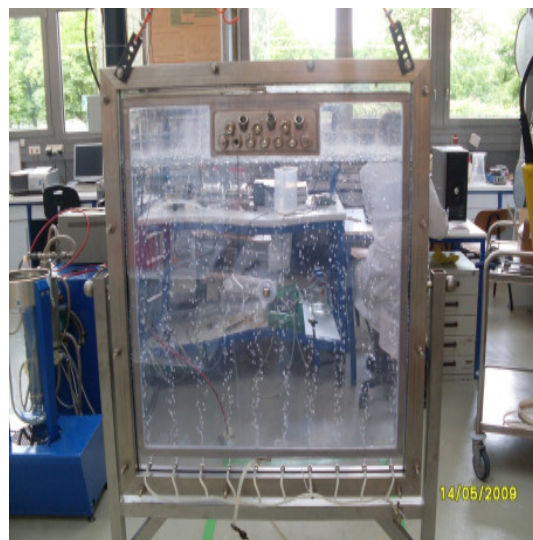
2. ábra: Horizontális csöves szerkezetű zárt PBR



Forrás: A szerző saját felvételei a Karlsruhei Egyetem Biotechnológiai Tanszékről

Figure 2: Horizontal tubular closed PBR at the Biotechnology Faculty of the University of Karlsruhe

3. ábra: A kísérlet során összeszerelt lemez PBR



Forrás: A szerző saját felvételei a Karlsruhei Egyetem Biotechnológiai Tanszékről

Figure 3: Flat pannel PBR constructed during the experiment

A Karlsruhei Egyetem Biotechnológiai Tanszékének laboratóriumában végzett kutatásaim során számos zárt típusú fotobioreaktor (PBR) összeszerelésével, tervezésével és az azokon történő kísérletek beállításával foglalkoztam. A sík vagy lemez típusú fotobioreaktor tervezésénél és megépítésénél a természetes napfény kihasználása volt a legfontosabb szempont, amelyhez minden más paramétert alárendeltem. A berendezés különböző beállításait ennek tükrében kellett összehangolni. Fontos szempont volt, hogy minél nagyobb mértékben lehessen kihasználni a Közép-Európában átlagosan beérkező napenergia (150 W/m^2) mennyiséget az algatenyészet gyarapodása érdekében (Lehr és Posten, 2009). A berendezés egy 1 m^2 -es 7 cm vastagságú 2×2 rétegű ragasztott üveglapból állt. Az üveglapokat szilikon-kaucsuk alapú ragasztóval rögzítettük egymáshoz, vízzáró gumiszigetelés használatával. A 2×2 réteg alkalmazására a hűtőrendszer beiktatása miatt volt szükség. Az egyik réteg magát az algatenyészetet tartalmazta, amíg a másik pár üveglap között, amely szorosan illeszkedett az algatenyészetet tartalmazó réteghez, hideg víz keringett. A keringetett hideg víz elvonta a napfény által felmelegített rétegből a hőt, kialakítva egy állandónak tekinthető hőmérsékletet. Az algatenyészetet tartalmazó rendszer űrtartalma 50 liter volt, amelyet desztillált vízzel töltöttem fel. Ebbe a részbe kerültek az algatörzs növekedéséhez szükséges tápanyagok. A kísérlet során használt algatörzs a *Chlorella minutissima* volt, amely egy egysejtű zöld alga. A flagellum nélküli sejt mérete 2 és $10 \mu\text{m}$ közé tehető. A *Chlorella* kloroplasztiszában klorfill-a és -b pigmentek segítségével zajlik a fotoszintézis. CO_2 víz, napfény és ásványi anyagok jelenlétében gyorsan szaporítható algafaj.

A fényenergia-átalakítási hatásfoka akár a 8%-ot is elérheti, szemben más C3-as (maximum 4,6%) és C4-es (maximum 6%) növényekkel (Zelitch, 1971). A szárazanyag tömeghez viszonyítva 45%-os fehérje, 25%-os olaj, 20% szénhidrát, 5% rost és 10% ásványi anyag és vitamin tartalmú.

A fotobioreaktort számos szennyezéssel láttuk el, hogy a fontosabb értékek (pH, hőmérséklet, oldott O₂, oldott CO₂, P koncentráció) változásai nyomon követhetővé váljanak. A rendszer legnagyobb előnye, hogy rendelkezik egy nyitott gázcsere egységgel, így nem halmozódik fel a káros O₂, viszont a nyitott rész alkalmas teremthet a más mikroorganizmusok által való fertőzésre. A reaktor alján van egy szüretelő nyílás, amelyet egy beépített csappal lehet leengedni vagy elzárni. A legtöbb esetben a keverés és CO₂ bevezetés a reaktor alján, akár több szelepen keresztül valósítható meg egyidejűleg (ebben az esetben 10 db, egymástól 10 cm-re lévő buborék befújó nyílás beszerelése történt), ugyanis akkor nem alakul ki megfelelő áramlás, ha a széles és magas téglalap vagy négyzetlap alakú berendezésben csak egy helyen (pl. a közepén) történik a befújás. Az algákkal betelepített reaktort a lapjával a napfény vagy a fényforrás felé fordítottuk. Ez a reaktor használható batch-fermentor vagy fed-batch fermentor üzemmódban egyaránt. Az alga biomassa energia tartalma 20 MJ/kg volt, 25%-os olajtartalmú törzs esetén. A CO₂ befújó rendszer és a hűtésért felelős rendszer üzemeltetése 2,5 W/m² külső

energiaforrást igényelt, szemben a háromszoros (7,5 W/m²) betakarított biomassa energiataralmával.

A megfelelő költséghatékonyság elérése esetén megállapítható, hogy pozitív energia-mérleg érhető el a rendszerrel a termelési és előállítási folyamat során, amit igazol, hogy a befektetett energia háromszorosa nyerhető ki a betakarított alga biomassa feldolgozása esetén. Eredményként tekinthető, hogy egy olyan környezetkímélő, alternatív energia-előállításra alkalmas berendezést konstruáltunk, amelynek üzemeltetése nem csökkenti az élelmiszer előállítás kapacitását. A rendszeren való további fejlesztésekkel elérhető lesz a még költséghatékonyabb energia-előállítás. Ezeknek a fejlesztéseknek a főbb irányvonalai elsősorban a külső energia-igény csökkentésére irányulnak, és sarkalatos pontjai a következők:

- a megvilágítás optimalizálása (mesterséges fény esetén a leghatékonyabb fényforrással),
- jobb CO₂/O₂ gázcsere biztosítása érdekében a keverés fejlesztése,
- az „aratási” vagy kinyerési folyamat innovációi,
- a tervezéskor a lehető legolcsóbb anyagok felhasználásával még tovább csökkenthető költségek,
- a jövőben érdemes lehet próbálkozni az alगतörzsek genetikai módosításával (jobb tolerancia).

IRODALOM

- Kiss Cs. (2009): Fotobioreaktorok fejlesztése a környezetünk védelmében. Georgikon napok konferencia
- Lehr, F.-Posten, C. (2009): Closed photo-bioreactors as tools for biofuel production. *Current Opinion in Biotechnology*, 20. 1-6.
- Pulz, O. (2001): Photobioreactors: production systems for phototrophic microorganisms. *Appl Microbiological Biotechnology*, 57. 287-293.
- Zelitch, I. (1971): *Photosynthesis, Photorespiration and Plant Productivity*. Academic Press, 275.
- EurActiv.hu 2008.12.08.
- IAE/OECD (2003): International Energy Agency: Energy to 2050: Scenarios for a sustainable Future. Paris
- www.iea.org/textbase/nppdf/free/2000/2050_2003.pdf
- www.euractiv.hu/gazdasag/linkdossziek/alga-a-jovo-biouzemanya-g-forrasa-000097, 2009-11-10.