

Fehér Krisztina, Óvári Gyula

A MIKROALGÁK FELHASZNÁLÁSI LEHETŐSÉGEI A BIODÍZEL ÜZEMANYAGOK ELŐÁLLÍTÁSÁBAN

A szárazföldi, légi és tengeri közlekedés az összes energiafelhasználás egyharmadát tudhatja magáénak, így több olyan fontos szempontot is figyelembe kell venni, amelyeket a fosszilis üzemanyagok használata befolyásol. Alkalmazásuk növekvő környezetszennyezést okoz, és emellett az üzemeltetési költségek is folyamatosan nőnek a nyersolaj árával együtt. E két tényező miatt is érdemes olyan alternatív lehetőségeket felkutatni, amelyek képesek teljes mértékben kiváltani a jelenleg használt üzemanyagokat, továbbá megújulóak, szén-dioxid semlegesek és környezetbarátok. Erre megoldást nyújthatnak az alternatív tüzelőanyagokon belül a bioüzemanyagok, melyek változatos fajtájú biomasszákból állíthatók elő. Ezek közé tartoznak a fotoszintetizáló mikroorganizmusok, az algák is. Az általuk megtermelt olaj megfelelő alapanyag lehet a biodízel előállításához, ráadásul mindezt úgy, hogy ennek létrehozásához a légkörben lévő szén-dioxidot használják fel.

Kulcsszavak: alternatív üzemanyag, bioüzemanyag, biodízel, mikroalga, zöldolaj

A Föld energiaéhsége a népesség számával együtt folyamatosan növekszik. Eddig fosszilis eredetű energiaforrásokból lehetett fedezni az igényeket, de az elmúlt évtizedekben ráébredt az emberiség, hogy a hagyományosnak számító tüzelőanyagok előállítása, használata gazdasági és környezetvédelmi problémákat is felvet. A kőolajból származó üzemanyagok alkalmazása egyfelől emelkedő költségekkel jár, amely háttérben a növekvő olajárak (az elérhető mennyiség csökkenése illetve az egyre nehezedő kitermelési módszerek miatt) és nem elhanyagolható mértékben a spekuláció állnak, másfelől hozzájárul a szén-dioxid felhalmozódásához a környezetben. Ezért, szükségessé válik olyan tüzelőanyagok létrehozása, amelyek megújulóak, CO₂ semlegesek, és megfelelően működnek velük a közlekedési eszközök. Az utóbbi kritérium teljesítéséhez szabvány által meghatározott határokon belül kell teljesítenie az előírt paramétereket az új alternatív üzemanyagnak, - példaként néhány fontosabb - megfelelő savtartalommal, kinematikai viszkozitással, sűrűséggel, fűtőértékkel, lobbanásponttal kell rendelkezniük. Az egyik ilyen lehetőség a megfelelő módszerekkel előállított biodízel, amellyel egyfelől kiválthatóvá válik a gázolaj illetve a kerozin, másfelől elégetésével, jóval kevesebb szennyezőanyagot (szén-dioxidot, ként, lebegő részecskéket) bocsát a környezetbe. Ennek alapjául szolgálhat egy mikroorganizmus által előállított olaj is.

A BIOÜZEMANYAGRÓL RÖVIDEN

A bioüzemanyagot biomasszából készítenek különböző technológiai eljárásokkal, attól függően, hogy milyen hagyományos tüzelőanyagot kívánnak kiváltani vele, illetve melyikkel szeretnék keverni. A biomasszát nagyrészt a mezőgazdaság állítja elő, de létrehozható különféle hulladékok (pl. kereskedelmi, ipari, kommunális) lebomlásának eredményeként is.

A bioüzemanyagok kategorizálhatóak például az alapanyag eredete és annak származása (termőterülete alapján, generációk szerint (első, második, harmadik, negyedik). Az első generációs bioüzemanyagokra jellemző, hogy olyan növényekből származik a biomassza alapjuk, amelyek

élelmezésre is megfelelőek, mint például a kukorica, burgonya vagy napraforgó. Ezekből keményítőt, növényi olajat, cukrot nyernek ki. A hasonlóság a második generációsokkal, hogy olyan termőföldeket használnak nyersanyag termesztésükhöz, melyeken kultúrnövények is megélnek. Nagy különbség kettőjük között, hogy az újabb generációs bioüzemanyag kiindulópontját olyan növények biztosítják, melyek se emberi élelmezésre, se állati takarmányozásra nem megfelelőek. Természetesen etikai kérdések merülhetnek fel a termőföld illetve az alapanyagként alkalmazott növények ilyen felhasználásáról, továbbá elgondolkodtató, milyen mélységben tolazkodhat be emberek a bioszférába, csak azért, hogy túlradó energiaéhségét csillapítsa [1].

A harmadik generációs bioüzemanyag fő előállítójának a különböző alga fajok számítanak. Általánosságban elmondható, hogy génmódosításon esnek keresztül, hogy minél több - a későbbiekben belőlük kinyerhető - olajat legyenek képesek termelni, illetve ellenállóbbak legyenek az élősködőkkel szemben. Alapanyagukat tekintve az első két generációs bioüzemanyagokkal szemben előnyük, hogy fajlagosan nagyobb mennyiségű megújulónak számító energia nyerhető ki belőlük, amelynek bekerülési költsége alacsonyabb, továbbá olyan talajokra, tartályokba telepíthetőek e mikroorganizmusok, amelyek nem tekinthetőek termőföldnek, emellett termesztésükhöz nem szükséges tiszta víz. A negyedik generációs bioüzemanyagok a biomasszát már nem közvetlen termelésre használják, hanem olyan katalizátorként, amely a napsugárzást felfogva, CO₂-dal ellátva állít elő alternatív tüzelőanyaghoz alapanyagot. Ebben a csoportban is megjelennek az algák, mint termelő szervezetek, de mellettük jelen vannak még a cianobaktériumok is [1][2].

AZ ALGÁK BEMUTATÁSA

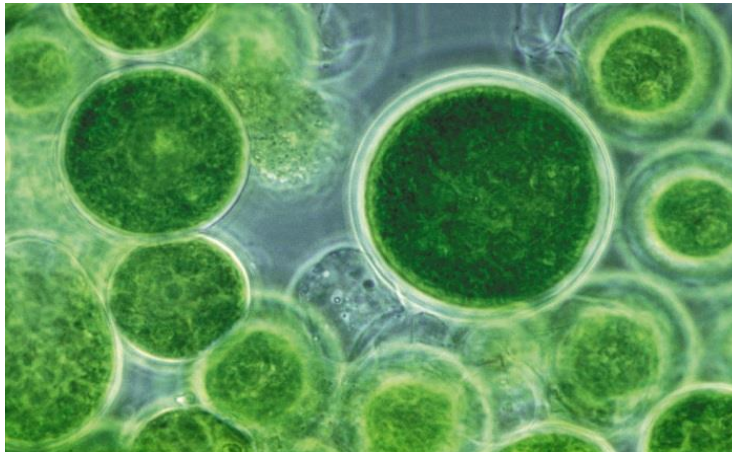
Az alga szó hallatán a legtöbb embernek egy vízfelszín jut eszébe, amelyet zöld, nyálkás réteg terít be. Pedig elképzelhető, hogy ebben a lebegő filmrétegben élő mikroorganizmusok lesznek a jövő „zöld” üzemanyag előállítói, amelyet az autóktól kezdve a repülőgépekig a közlekedésben használni fognak, és végleg lezárja azt a háborút, melyet két iparág (bioüzemanyag és az élelmiszer) vív egymással a termőföldek és a kultúrnövények felhasználásáért.



1. ábra Algaréteg [3]

A mikroalgák fotoszintetizáló mikroorganizmusok, melyek széles körben elterjedtek a Földön, hiszen az édesvizektől kezdve a tengerekig megtalálhatóak magában a vízben, illetve az iszapban és az üledékben is. Láncokba, telepekbe kapcsolódva élnek, de előfordulnak külön, egyetlen sejtből álló egyedek, ún. mikroalgák (2. ábra) is. Eddig mintegy 50 000 fajukat fedezték már fel, de a kutatók úgy vélik, hogy ennek akár a tízszerese is lehet az alfajok száma. Hiába

nem számítanak magasabb rendű biológiai életformának, jelenlétük elengedhetetlen a bioszférában, hiszen a légkör oxigén mennyiségének körülbelül a felét ők állítják elő fotoszintézis útján szén-dioxidból. Léteznek közöttük olyan egyedek is, amelyek bioüzemanyag alapanyagot képesek előállítani az utóbbi gáz felhasználásával. Ezekre irányul már néhány éve az alternatív üzemanyagokat kutatók figyelme.



2. ábra Mikroalga [4]

Algákból több különböző bioüzemanyag is előállítható:

- anaerob módon: metán;
- mikroalgák által termelt olajból: biodízel;
- fotobiológiai úton: biohidrogén [5].

Ezek közül ebben a cikkben a biodízellel foglalkozunk, mivel

- a legkiterjedtebb kutatások e téren folynak;
- a jelenleg használt gépjármű motorok nagyobb hajtómű átalakítások nélkül ezt az üzemanyagot képesek megfelelően hasznosítani;

AZ ALGÁK TERMESZTÉSE

A mikroalgák termesztéséhez szükség van megfelelő mennyiségű napfényre (költségeket tekintve a természetes napfény az ideális), szén-dioxidra, vízre és szervesetlen sóra, továbbá 20–30 °C közötti környezeti hőmérsékletre. A növekedésükhöz szükséges tápoldatnak is előírt összetételűnek kell lennie, tartalmazva nitrogént, foszfor, vasat és szilíciumot optimális arányban. A tengeri fajoknál természetesen tengervíz használható termesztésre nitrát és foszfát műtrágyákkal kiegészítve. 100 t alga biomassza 183 t széndioxidot, – a nappali órákban, pH érzékelőkkel ellenőrzik a molekula felvételét - használ fel. A napszak azért fontos, mert ilyenkor képesek megkészserezni, akár többszörözni is tömegüket. Éjszaka viszont nem táplálkoznak, sőt a napközben elért növekedésük akár 25%-át is képesek elveszíteni. Utóbbit erőteljesen befolyásolja a hőmérséklet, illetve a tápoldat minősége, így a jellemzőket megfelelő szinten kell tartani [5].

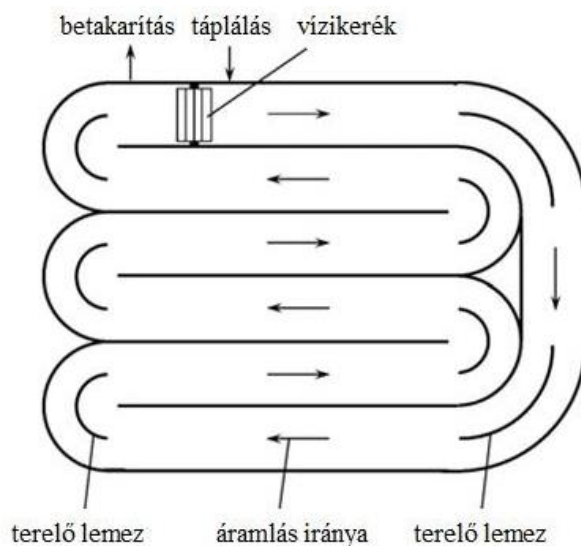
A nagyüzemi termelést kétféleképpen valósítható meg: nyíltvízi medencékben, illetve csőszerű, ún. fotobioreaktorokban. Mindkét módszernek van sajátos előnye: az előbbi egy kevésbé költ-

séges megoldás, míg az utóbbi esetében nem fertőzödhet felül más algafajjal a termelési folyamat során. Mindkét változat jó teszteredményeket ért el a laboratóriumban, a kereskedelmi termelésben felmerülnek olyan problémák, amelyek a kutatási időszakban nem jelentkeztek.

Jó példa erre a GreenFuel Technologies vállalat esete is. 2007-es év elején Arizónában létrehoztak egy üvegházat, melybe fotobioreaktort telepítettek, élő algából üzemanyag előállítására. Rövid idő után már problémák merültek fel, ugyan is az algák gyorsabban növekedtek a csővezetékben, mint ahogy a cég képes volt betakarítani az általuk megtermelt olajat, a megnövekedett mennyiségű mikroorganizmusnak viszont kevésnek bizonyult a fény, illetve a tápanyag, így azok elpusztultak [6].

Nyíltvízi medencében történő algatermesztés

Az átlagosan 30 cm mélységű, betonból vagy tömörített földből készül nyíltvízi medence zárt hurok kialakítású (3. ábra), melyben – a leülepedés elkerülésére – egy vízkerék folyamatosan keveri, cirkuláltatja a vizet. Az alját fehér műanyag fóliával vonják be. Az alga betakarítására a fent említett kerék előtt kerül sor [5].



3. ábra Nyíltvízi medence felépítése [5]



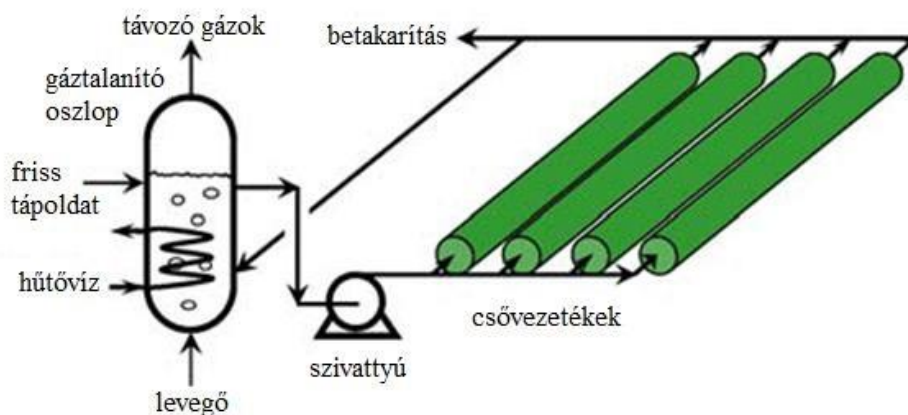
4. ábra Earthrise Nutritional vállalat algafarmja [7]

A legnagyobb medencét (felülete 440 000 m²) az Earthrise Nutritionals (4. ábra) birtokolja (2007-es adat). Ezt a termelőhelyet már az 1950-es évek óta használják. Hátránya, hogy nagy napi illetve szezonális hőmérsékletingadozás hat rá, magas a párolgási vízveszteség nyitott teje miatt, így kevesebb szén-dioxidot tud elnyelni, továbbá megjelenhetnek benne más, a mikroalgákon élősködő algák illetve mikroorganizmusok is [5].

Csőszerű fotobioreaktorban történő algatermesztés

A fotobioreaktor zárt rendszernek tekinthető; csővezetékein belül található meg a biomassa. A kialakítása és berendezései más, pl. a nyíltvízi medencés termelési módszerhez képest eltérőek, és az alábbi elemekből áll (5. ábra):

- **napkollektor csővezetékek:** műanyagból vagy üvegből készült átlátszó csősorok, átmérőjük maximalizálva van, hogy a belsejüket is átjárja a fény, így biztosítva a biomassa fejlődését;
- **tartály:** friss tápközeg adagolása, hűtés, levegővel történő ellátás és gáztalanítás zajlik benne;
- **szivattyú:** a biomassa keringtetését biztosítja.



5. ábra Fotobioreaktor berendezés részei [5]

Több fajta csővezeték elhelyezés létezik, de a legelterjedtebb a párhuzamos fektetés, ahol a csövek észak-déli irányban futnak, hogy minél több napfényt legyenek képesek elnyelni. Alattuk a talajt vagy fehérre festik vagy fehér műanyag lapokat helyeznek el azon, ezzel növelve a fényvisszaverés mennyiségét. A másik elterjedt kialakításhoz rugalmas műanyag csővezetéseket használnak, amelyeket egy tartókeretre spirálisan körbe tekerve helyeznek el (6. ábra), hátránya, hogy csak kisebb mennyiségű biomassa termelhető benne. Általában természetes megvilágítást használnak, de több termelő helyen alkalmaznak mesterséges fényt is, amely drágítja az előállítását. A víz keringtetéséhez ebben a rendszerben is igénybe vesznek szivattyút, melyek beépítési módja lehetséges: mechanikus illetve felhajtó erő¹ alapuló, nem mechanikus szivattyú (pl.: mamutszivattyú). Az előbbi egy olcsóbb, könnyebb telepítésű és üzemeltetésű berendezés, viszont roncsolhatja a biomasszát. Az utóbbi előnye, hogy finomabban képes cirkuláltatni a tápoldatot az algák körül [5].

¹ Működési elve, hogy a rendszerbe „nyúló béléscsőbe egy külön csövön olyan gázkeveréket juttatnak be, amelytől a felhajtóerő megnövekszik (légnomámos vízemelő). Ugyanis a gáz és a kútban levő víz keverékének sűrűsége a víznél kisebb lesz, és a sűrűségkülönbség felhajtóerőként működik.” [16]



6. ábra Spirálisan feltekert csővezeték egy fotobioreaktorban [8]

Természetesen a csővezetéseket bizonyos időközönként tisztítani és fertőtleníteni szükséges, valamint problémaként merül fel, hogy az algák előszeretettel tapadnak meg a csővezetékek belső falán. Utóbbi azért jelent gondot, mert a fényt kizárják a cső belsejéből, csökkentve ezzel a termelékenységet. A tisztítás lehetséges módszerei lehetnek:

- levegődugó bejuttatása a csővezeték belsejébe;
- csővezeték átmérőjével éppen megegyező nagyságú gördülő golyók alkalmazása;
- nagy turbulens áramlás létrehozása;
- lebegő homok vagy hasonló tulajdonságokkal bíró részecskék felhasználása a belső felület lecsiszolására;
- olyan enzimek bejuttatása, amelyek feloldják a kapcsolatot a cső fala és a rajta megtapadó algatelep között [5].

Termelést befolyásoló tényezők

A mikroalgák napfény hatására CO₂ felhasználásával fotoszintetizálnak, miközben oxigént állítanak elő, így feldúsítva oldott O₂-vel a tápoldatot. Ha ez az érték magasabb, mint a légkör telítettségi szintje, akkor a fotoszintézis lelassul, továbbá a napsugárzás már nem hasznos, hanem épp ellenkezőleg fotooxidatív² kárt okoz az algáknak. Ezt elkerülendő nem lehet a rendszeren belül az oldott oxigén szintjét 400%-kal magasabb, mint a légkörben találhatóé. Tovább nehezíti ezeket a problémákat a fotobioreaktor kialakítása, hiszen zárt csővezetékben termesztik a mikroalgákat, ezért ennek ellensúlyozására gáztalanító zónát hoznak létre a rendszerben, és ott levegővel kezelve a tápoldatos biomasszát eltávolítják belőle a felesleges oxigént. Emiatt illetve további tényezők miatt (pl.: biomassza és oxigén koncentrációja, fény intenzitása, áramlási sebesség, stb.) tervezik ezeket a csöveket maximum 80 m hosszúra. A gáztalanító zóna pH szabályzóként is működik (az elnyelt CO₂ befolyásolja a tápoldat pH értékét).

² Magas fényintenzitás hatására bekövetkező oxidáció, mely során a pigmentek kiféhérednek, a növény elpusztul. (<http://ttmk.nyme.hu/blgi/Lapok/N%C3%96V%C3%89NY%C3%89LETTANITU-DOM%C3%81NYOSM%C5%B0HELY.aspx>)

A mikroalgák érzékenyek hőmérsékletre, ezért ennek fontos a szabályozása. Nappal, 30 °C fölé, míg éjszaka nem 20 °C alá nem mehet a biomassza hőmérséklete. Több megoldás is létezik a feladat kezelésére, attól függően, hogy milyen kialakítású a termelő rendszer:

- kültéri fotobioreaktoroknál hőcserélőt helyeznek el a tartályba vagy a gáztalanító oszlopba, ami költséghatékony megoldásnak számít;
- szintén külső elhelyezésnél, száraz klímán közvetlenül a csővezetékekre permeteznek hűtővizet;
- a legköltségesebb kivétel az összes közül, ha olyan üvegházba telepítik az egész berendezést, amelyben a hőmérsékletet folyamatosan szabályozható. [5]

A két termelési rendszer rövid összehasonlítása

A két módszert összehasonlítva megállapítható, hogy a nyíltvízi medencékben történő mikroalga termesztés egyszerűbb és alacsonyabb költségek jellemzik. Az 1. táblázatból jól látható, hogy mindkét rendszer azonos mennyiségű szén-dioxidot használ fel a levegőből, ugyanakkora mennyiségű éves biomassza termelés mellett, az olajhozam azonban mégis magasabb a fotobioreaktorban történő termesztésnél.

Szempontok	Fotobioreaktor	Nyíltvízi medence
Éves biomassza termelés [kg]	100 000	100 000
Termelőképeség térfogatra vonatkoztatva [kg/m ³ d]	1,535	0,117
Termelőképeség területre vonatkoztatva [kg/m ² d]	0,048 ^a 0,072 ^c	0,035 ^b
Biomassza koncentráció a fermentlében [kg/m ³]	4,00	0,14
Hígítási arány [1/d]	0,384	0,250
Szükséges terület [m ²]	5681	7828
Olaj hozam [m ³ /ha]	136,9 ^d 58,7 ^e	99,4 ^d 42,6 ^e
Éves CO ₂ fogyasztás [kg]	183,333	183,333
Rendszer geometriája	132 párhuzamos cső/egység, 80 m hosszú és 0,06 m átmé- rőjű csővezetékek	978 m ² /medence, 12 m szé- les, 82 m hosszú, 0,3 m mély
Egységek száma	6	8
a: létesítmény területére vonatkoztatva, b: tényleges medence területére vonatkoztatva, c: fotobioreaktor csövek tervezett területére vonatkoztatva, d: 70 tömeg% olajtartalmú biomasszára vonatkoztatva, e: 30 tömeg% olajtartalmú biomasszára vonatkoztatva		

1. táblázat A fotobioreaktoros és a nyíltvízi medencés algatermesztés összehasonlítása 100 t tömegre vetítve [2]

A biomasszából történő olaj kinyerésnek technikai és gazdasági vonzata is jelentős, mivel a fotobioreaktorokban a fermentlében a biomassza koncentrációja közel 30-szorosa a medencés kialakításának, így ennek helyreállítási költségei töredéke az utóbbi rendszerben lévőhöz képest. Lényeges, hogy a fotobioreaktorokban a medencés eljárásához képest elérhető, hogy csak egy fajta mikroalga tenyészsen egy struktúrán belül. A két termelési rendszer teljes és pontos összehasonlításához sok szempontot kellene figyelembe venni. Jelen esetben az algatermesztés paraméterei közül a biodízel alapanyag előállításához köthető adatok kaptak prioritást, amelyek szerint a fotobioreaktorban történő termelés kiemelkedőbb eredményeket hoz, mint a nyíltvízi medencés módszer.

BIODÍZEL ELŐÁLLÍTÁSA

Az Amerikai Egyesült Államokban 1978-ban az Energiaügyi Minisztérium a Nemzeti Megújuló Energia Laboratóriummal közösen elindítottak egy komplex, ún. Vízi Fajok Programot, melynek keretein belül:

- tanulmányozták az algák fejlődését medencékben, melyeket szénérőműből távozó szén-dioxiddal tápláltak;
- elemezték a mikroorganizmusok anyagcseréjét, olaj-előállító képességeit továbbá az általuk létrehozott olajat;
- megoldást kerestek arra, hogy lehetne növelni az olajhozamot [6].

A programot 1996-ban leállították, az eredményeit összefoglaló jelentés szerint: az algák felesleges szén-dioxidból nagy sűrűségű, természetes olajat képesek előállítani, hozzáátve, hogy a technológia ígéretes, de nem látható benne a jövőbeni potenciál (a kőolaj akkori ára alacsony volt).

Mikroalga fajok	Olajtartalom [tömeg %]
Botryococcus braunii	25–75
Chlorella sp.	28–32
Cryptocodinium cohnii	20
Cylindrotheca sp.	16–37
Dunaliella primolecta	23
Isochrysis sp.	25–33
Monallanthus salina	>20
Nannochloris sp.	20–35
Nannochloropsis sp.	31–68
Neochloris oleoabundans	35–54
Nitzschia sp.	45–47
Phaeodactylum tricornutum	20–30
Schizochytrium sp.	50–77
Tetraselmis sueica	15–23

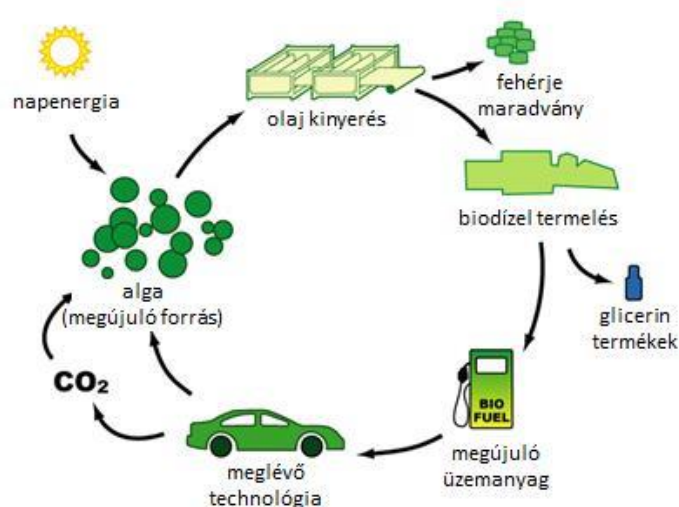
2. táblázat Néhány mikroalga fajta olajtartalma [2]

Mára ez megváltozott, nemcsak a nyersolaj ára fokozatosan emelkedése miatt, hanem mert igények merültek fel a szénszemleges eljárások, a biotechnológia fejlesztése iránt, illetve termőföldek megtartására élelmezési növények számára [6]. Fajtájuktól függően a mikroalgák fotoszintézis útján szén-dioxidból cukrot állítanak elő, majd ezt tovább alakítják lipidekké, amelyekben tárolják az olajat (2. táblázat). Kinyerésük többféleképpen lehetséges betakarításkor. A legegyszerűbb eljárás, mikor a kipréselik belőlük az olajat. Egy másik technológia szerint a lipideket sűrített szén-dioxid segítségével elpárologtatják, kivonják, majd kondenzálják őket, esetleg különböző oldószereket használva nyerik ki a fent említett kémiai anyagot [6].

Több szempontot figyelembe véve előnyösebb algákat termesztetni, mint olajos magvakat, hiszen a termelő egységeket jóformán bárhol el lehet helyezni, nincs szükség termőföldre, 24 órán belül meg tudják többszörözni saját mennyiségüket, illetve olajhozamuk kiemelkedően magasabb, mint azt a 3. táblázat is bemutatja az Amerikai Egyesült Államokra vetítve.

Termények	Olajhozam [l/ha]	Szükséges termőföld nagysága [Mha] ³	A létező termőföldek százalékos aránya az USA-ban ⁴
kukorica	172	1540	846
szójabab	446	594	326
repce	1190	223	122
jatropha	1892	140	77
kókuszdió	2689	99	54
olajpálma	5950	45	24
mikroalga ⁵	136 900	2	1,1
mikroalga ⁶	58 700	4,5	2,5

3. táblázat Biodízel előállításához szolgáló források összehasonlítása. (2007-es adatok) [2]



7. ábra Biodízel előállításának folyamata [9]

A mikroalgákból kinyert olajat különböző eljárásokkal alakítják biodízel üzemanyaggá (pl. 7. ábra). Első lépésként el kell távolítani belőle a foszfort és a benne lévő vizet, mely gátolja a transzészterezést, illetve a pigmenteket, szabad zsírsavakat, valamint a nyomokban előforduló fémeket, hogy készen álljon a további feldolgozásra.

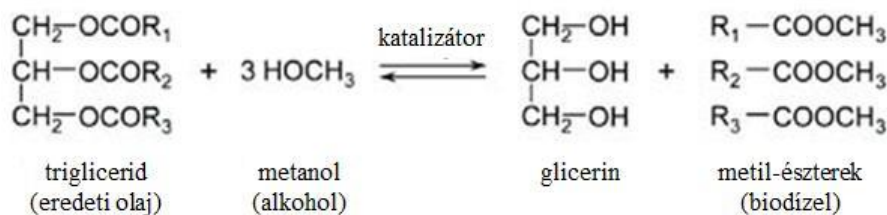
Az e célból végzett transzészterezés egy katalitikus egyensúlyi folyamat, mely során 1 mol nyersolajat 3 mol alkohollal reagáltatva a reakció végén kicsapódik a glicerín, és létrejön 3 mol biodízel (8. ábra). Ipari előállítás esetén 6 mol metanolt adagolnak a rendszerbe, hogy az átalakulás csak egy irányba történjen. Természetesen más fajta alkoholok is használhatóak a reakció során, de egyelőre gazdaságosság szempontjából a metanol a legkifizetődőbb. Katalizátorként lúgokat (előnyben részesítik gyors reagálása miatt), savakat vagy lipáz enzimeket használnak. A bázis katalizált folyamatokat légköri nyomáson 60 °C-on végzik, melynek időtartama körülbelül 90 perc. Ezen művelet végeztével a létrejött biodízel üzemanyagot többször átmosják vízzel, hogy a folyadékban maradt glicerint illetve metanolt eltávolítsák belőle [5].

³ A közlekedési eszközökhöz ellátásához szükséges üzemanyag mennyiség 50%-ának biztosítása az USA-ban. (Feltételezve, hogy a szükséges üzemanyag mennyiség felét biztosítják biodízelből.)

⁴ A közlekedési eszközökhöz ellátásához szükséges üzemanyag mennyiség 50%-ának biztosítása az USA-ban. (Feltételezve, hogy a szükséges üzemanyag mennyiség felét biztosítják biodízelből.)

⁵ 70% (tömegszázalék) olajtartalom a biomasszában

⁶ 30% (tömegszázalék) olajtartalom a biomasszában



8. ábra Transzészterezés folyamata⁷ [5]

A mikroalgákból származó olaj biodízelnként történő felhasználását különböző fizikai, kémiai tulajdonságokat előíró rendeletek határozzák meg. Ilyen szabványok léteznek az Európai Unióban (EN 14214 – járművekben üzemanyagként használva) illetve az Amerikai Egyesült Államokban is (ASTM D6751), melyek segítségével az (is) megállapítható, hogy a létrehozott biodízel közvetlenül felhasználható-e gépjárművekben vagy szükséges az átalakításuk a különböző hajtóművekben történő felhasználáshoz.

A 4. táblázat segítségével a különböző üzemanyagok néhány fontosabb jellemzője vethető össze, de nem tartalmazza teljes terjedelmében a fent hivatkozott szabványokban rögzített valamennyi tulajdonságot, mint például víz-, kén-, sav- és észter tartalom, oxidációs stabilitás, kenetőség stb.

	Sűrűség [kg/l]	Viszkozitás [mm ² /s]	Gyulladáspont [°C]	Fajlagos energiaérték [20 °C-on MJ/kg]	Fajlagos energiaérték [20 °C-on MJ/l]	Cetánszám	Üzemanyag ekvivalencia
Dízel	0,84	5	8	42,7	35,87	50	1
Repce olaj	0,92	74	317	37,6	34,59	40	0,96
Biodízel	0,88	7,5	120	37,1	32,65	56	0,91
BtL	0,76	4	88	43,9	33,45	>70	0,97

4. táblázat A fosszilis eredetű dízel és a különböző biodízelek fizikai tulajdonságai [2]

A biodízel üzemanyag előnyei közé sorolható, hogy használatával kevesebb szén-dioxid és kórom kerül a levegőbe, míg kén egyáltalán nem, így a környezetre mért terhelése jóval kisebb, mint a fosszilis eredetű tüzelőanyagoknak. Ehhez hozzátartozik, hogy könnyen lebomló, nem toxikus folyadékról beszélünk. Hátránya a gyártási technológiájából adódik, miszerint előállítása sok vizet igényel. Önmagában is, de meghatározott arányban hagyományos dízel üzemanyaghoz keverve is használható [10].

Az algatermesztés és a biodízel előállításának gazdasági háttere

Bármely új termék piacra történő bevezetésekor figyelembe kell venni a költségeket. Ugyanez érvényes a hagyományos tüzelőanyagok alternatív üzemanyagokra történő kiváltására is, hiszen egy szempont a sok közül, hogy nem szennyezi a környezetet, illetve megújuló energiaforrások felhasználásával készül el, de fel kell vennie a versenyt árban is a piacon lévő egyéb lehetőségekkel.

⁷ A képletekben szénhidrogén csoportokat jelölnek az R₁, R₂, R₃ jelzések.

Költségeket tekintve a mikroalgából az olaj kinyerése, majd ennek átalakítása biodízel üzemanyaggá független a rendszer kialakításától, vagyis eltekinthetünk attól, hogy fotobio-reaktorban vagy nyíltvízi medencében történik a termesztés, egyetlen befolyásoló tényező maga a biomassza és ennek fenntartása. E növényi olajból előállított biodízel akkor válik versenyképpessé a hagyományos dízel üzemanyaggal szemben, ha 0,48 USD áron lehet előállítani literét (2007-es ár), illetve az alábbi képlet segítségével megállapítható az adott kőolaj árból származtatott alga olaj ár, amellyel gazdaságilag helyettesíthető a fosszilis eredetű alapanyag:

$$C_{\text{alga olaj}} = 6,9 \cdot 10^{-3} C_{\text{kőolaj}},$$

ahol

$C_{\text{alga olaj}}$ – 1 liternyi mikroalga olaj ára USD-ben;

$C_{\text{kőolaj}}$ – a nyersolaj hordónkénti⁸ ára USD-ben [5].

Példaként említve, ha 48 USD-os hordónkénti nyersolaj árat (2017. első negyedév átlag ára) tételezünk fel, akkor a mikroalgából készült olaj ára nem lehet magasabb 0,33 USD literenként, ha a hagyományos alapanyag kiváltását szeretnénk gazdasági szempontok alapján. Ehhez még természetesen azt is figyelembe kell venni, ennek a növényi eredetű olajnak az energiatartalma mekkora a kőolajhoz viszonyítva. A fenti képlet körülbelül 80%-kal számol.

Még piacképesebbé tehető a mikroalgákból előállított biodízel, ha a termelési költsége csökkenthető. Erre jelenleg három módszer ismert:

- ➔ fotobioreaktorok különböző paramétereinek fejlesztése;
- ➔ a mikroalgák termelési képességeinek javítása (genetikai módosítás);
- ➔ biofinomító alapú termelés bevonása a rendszerbe [5].

Bár a fotobioreaktor termelékenysége magasabb szintű a medencéhez képest, de azért mindenképpen fejlesztésre szorul. Kialakulhatnak benne úgynevezett központi sötét zónák (cső belseje) illetve jobb megvilágítású perifériás területek (cső külseje), amelyek a biomassza optimális fejlődésének szempontjából nem megfelelőek. A csövekben fellépő turbulencia a fermentlé gyors körforgását indukálja a világosabb és a sötétebb részek között, amely ciklus gyakorisága több tényezőtől függ, például a külső besugárzott felülettől, a csővezetékek átmérőjétől, az algát felépítő sejtek koncentrációjától, a biomassza optikai paramétereitől illetve a turbulencia intenzitásától. Ha időben megfelelő ütemben váltakoznak a fényes és sötét periódusok, akkor ezzel is növelhető a biomassza termelékenysége a folyamatosan azonos fényintenzitású előállításához képest. Ennek oka, hogy a fényteltettséget ellensúlyozva a szükséges ideig sötétben tartott algák regenerálódni tudnak, így felkészülve a következő fényes időszakra és a növekedésre. Ötletként merült fel, hogy a fotobioreaktor csővezetékeibe álló keverő lapátok beépítése is, a biomassza áramlás kétféle zónájának keverésére, de ez a megoldás nem váltotta be a hozzáízütt reményeket, mert döntően akadályozta a fény bejutását a csővezetékek belsejébe. Továbbá arra is figyelmet kell fordítani, hogy ne legyen túl nagy az áramlás sebessége a csövekben, mert az roncsolhatja az algatelepet, amelyek egyébként is ki vannak téve a keringtetés miatt a szivattyú

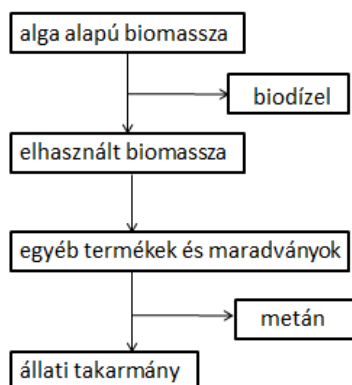
⁸ Egy standard amerikai *hordó (barrel) nyersolaj 159 liter (0,136 tonna)*, amiből annak minőségétől, az alkalmazott technológiától függően (pl. USA-ban) 78 liter benzín és 38 liter gázolaj állítható elő.

illetve a tartályfalak okozta sérülésnek. Tehát meg kell találni azt az optimális áramlási sebességet, amellyel a sötét-fényes területek megfelelően keverhetőek, de nem szaggatja szét az algaszőnyeget [5].

A második költségcsökkentő, termelési képességet növelő tényező a mikroalgák tulajdonságaik genetikai módosítása. E szakterülettel a géntechnológia foglalkozik az utóbbi évtizedben egyre sikeresebben. Különböző beavatkozásokkal, eljárásokkal a mikroorganizmusok alábbi jellemzői befolyásolhatóak:

- a fotoszintézis hatékonyságának növelése;
- a biomassa növekedési ütemének növelése;
- a biomassa olajtartalom mennyiségének emelése;
- a hőmérsékletingadozás toleranciájának erősítése;
- a fény telítettség jelenségének kiküszöbölése;
- a fotoinhibíció (fénygátlás) csökkentése;
- a fotooxidációra való hajlam redukálása [5].

A harmadik lehetőség biofinomító létrehozása algafarmok mellett. E a rendszer működési elve megegyezik a kőolajfinomítóéval, hiszen az eljárás során az összes keletkező nyersanyagot további felhasználásra képessé teszi. A 9. ábra bemutatja, milyen nyers- és alapanyagok jönnek létre egy biofinomítóban működés közben:



9. ábra Biofinomító működése közben termelődött alap- és nyersanyagok

Ilyen berendezések már megtalálhatóak Németországban, az Amerikai Egyesült Államokban, illetve Kanadában is, egyelőre főként olajos magvak feldolgozására alkalmazzák. A mikroalgák az olaj mellett fehérjéket, szénhidrátokat illetve egyéb tápanyagokat tartalmaznak. A fenti ábrából jól látható, hogy az elhasznált, kimerített biomasszát még fel lehet használni állatok takarmányozására, étrendkiegészítők, kozmetikai cikkek alapanyagainak és metán előállítására is (ami közvetlenül is kinyerhető lenne algából, de más szerves anyag anaerob (oxigénhiányos környezetben is életképes) bomlásából származó gáz olcsóbb előállítási költségű), amely alkalmazásával elektromos áram nyerhető (például algatermesztésnél továbbiakban igénybe vehető). Tehát, a mikroalgákból biodízel, biogáz, állati takarmány és villamos áram is kinyerhető [5].

Az algatermesztéssel foglalkozó vállalatok bemutatása

A világon egyre több helyen létesülnek algatermesztéssel foglalkozó vállalatok Amerikától kezdve Európán át egészen Ausztráliáig. E cégek többségére jellemző, hogy a termelés mellett

kutatásokat is végeznek, illetve nem csak bioüzemanyag előállításával, hanem egyéb áruk létrehozásával is foglalkoznak (például táplálék kiegészítők, kozmetikai termékek, állati takarmányozásra szánt tápok stb.), kihasználva a biofinomító berendezés adta lehetőségeket. Természetesen a befektetői kedvet ebben a szektorban is befolyásolja a folyamatosan ingadozó nyersolajár. Az alábbiakban a teljesség igénye nélkül megismerhető néhány, a piacon meghatározó - algatermesztéssel foglalkozó vállalat.

Sapphire Energy

A 2007-ben alapított, San Diego-i székhelyű Sapphire Energy vállalat olyan támogatókat és befektetőket tudhat maga mögött, mint Stephen Mayfield (sejtbiológus), Bill Gates and Arch Venture Partners.

A Sapphire Energy a nyílt felületű medencés termelési módszert alkalmazva olyan vízzel tölti fel ezeket a víztárolókat, amely emberi fogyasztásra alkalmatlan (pl. sós tengervíz) illetve elhelyezkedésüket tekintve se merülnek fel etikai kérdések, hiszen használaton kívüli földre telepítik őket. A vállalat alacsony költségű, de értékes biomasszából akvakultúra alapanyagául szolgáló, illetve állati takarmány összetevőket és megújuló üzemanyagot állítanak elő. A cégnek eddig több mint 300 elfogadott továbbá függőben lévő szabadalmi bejegyzése létezik, ezek közé sorolható a 2007 nyarán létrehozott Green Crude elnevezésű algából származó üzemanyag. A Sapphire Energy olyan bioüzemanyagot állított elő, mely nem biodízel és nem etanol, megfelel a tüzelőanyag szabványnak, kiváltható vele a kerozin, a benzin illetve a gázolaj is. Természetesen teljes titoktartás mellett hozzájuk létre a Green Crude-ot, amely magában foglalja az egész folyamatot az algák genetikai módosításától kezdve a természetesen át egészen a bioüzemanyag előállításáig [6][11].

Solazyme

Kaliforniában, San Francisco-ban 2003-ban alapították Solazyme vállalatot amely, kirendeltséget működtet Peoria-ban illetve Sao Paulo-ban is. Ipari kenőanyagokat, bioüzemanyagot állítanak elő folyamatos fejlesztések során. Olyan mikroalgákkal folytatnak kísérleteket, amelyek által megtermelt olaj ki tudja váltani a kőolajat, az állati zsiradékot illetve a növényi olajakat. A Solazyme vállalat arra törekszik, hogy olyan megújuló, tiszta bioüzemanyagot állítson elő, amely orvosolja az üzemanyaghiányt, ebből adódóan energiabiztonságot ad, illetve létrehozásával nem szennyezi a környezetet, alkalmazásához nem szükséges módosítani a motorokat [12].

Négy bioüzemanyaguk autókba, légi járművekbe illetve tengeri járművekbe tankolható. A Soladiesel_{BD} és a Soladiesel_{RD} (megújuló dízel) az autókba tölthető diesel üzemanyagot váltja ki. Mindkettő 100%-ban alga alapú, megfelel az amerikai ASTM D 975 szabványnak (a BD változat az ASTM D 6751-nek is), mert nagyon alacsony a kibocsájtott kipufogógázuk kén- illetve szilárdrészeske tartalma. Az ASTM D 1655 szabványnak megfelelő Solajet elnevezésű tüzelőanyaguk a repülőgépekhez használható. Előnye, hogy a hagyományos üzemanyagok teljesen kiválthatóak vele, hosszabb az eltarthatósági ideje, használatával csökken a légi járművek füst-kibocsátása, illetve a szárnyat ért hő általi igénybevétel, olcsóbb a karbantartás, alacsonyabb szintű a gyúlékonysága. 2008 óta áll a Solazyme vállalat kapcsolatban az Amerikai Haditenge-

részettel és a Védelmi Minisztériummal, hogy megújuló üzemanyagot fejlesszenek ki számukra. A cég a tengeri járművekhez használható, a HRD-76 illetve a HRJ-5 katonai előírásoknak megfelelő biodízelt hozta létre [12].

Algae.Tec

A 2007-ben alapított ausztrál Algae.Tec vállalat szintén többféle terméket állít elő algából az élelmiszer, a mezőgazdaság és az üzemanyag szektorokban a fenntarthatóság jegyében, megújuló technológiákat alkalmazva. Folyamatos fejlesztések folynak laboratóriumaikban, hogy javítsák az algák termelékenységét, szén-dioxid megkötését, versenyképesek maradjanak az algák termesztése, betakarítása illetve a belőlük készült produktumok létrehozása terén. A cég zárt rendszerű fotobioreaktorban termeszt az algákat, mely rendszerhez kapcsolódik egy légköri szén-dioxidot befogó és tároló készülék, mely a mikroorganizmusok táplálásához elengedhetetlen. Az Algae.Tec és a Lufthansa vállalat egy szándéknyilatkozatot írt alá a repülésben használható biodízel üzemanyag fejlesztéséről [13].

AlgaEnergy

Az AlgaEnergy madridi székhelyű cég, mely mikroalgák biotechnológiájára szakosodott, kutatások, fejlesztések területén, melyektől a környezet fenntarthatóságát, energia igények kielégítését, illetve az élelmiszerbiztonság problémájának megoldását várják. Az AlgaEnergy több fajta terméket állít elő mikroalgákból (étrendkiegészítőkhöz és kozmetikai szerekhez alapanyagot, állati takarmányokat, bioműtrágyát illetve bioüzemanyagot), amelyekkel nem csak a hazai piacokat, hanem a külföldieket is ellátja. A cég által megálmodott AlgaeDiesel üzemanyag már létezik, kiemelkedő tulajdonságokkal, magas energetikai teljesítménnyel bír, de jelenleg is folynak fejlesztések, hogy gyártása költséghatékonyá váljon [14].

Az első alगतenyészetet egy olyan mobil laboratóriumban helyezték el, ahol a tartályok térfogata összesen 240 l volt. A kapacitás-fejlesztés következő lépéseként 2009-ben telepítettek egy üzemet az Alfonso Suarez Madrid-Bajaras repülőtér mellé, mely létesítményük az ipari szén-dioxid kibocsátást használja fel a fotobioreaktorokban tenyésztő algák táplálására, ahol azóta is számos kutatás folyik a különböző alga-fajok termesztésével, gyártási technológiákkal kapcsolatban. A berendezések ürmértéke összesítve 40 000 liter. 2014-ben üzembe helyezték az egy hektáron elterülő Arcos de la Frontera ipari létesítményt, melynek teljes kapacitása 1 000 000 liter és emellett évente 100 t száraz biomasszát képes előállítani. Az algafarm az IBERDROLA erőmű mellett fekvő a gyár kéményeiből származó szén-dioxidot használja fel [14].

Cellana

A HR BioPetroleum vállalatot 2004-ben alapították, majd 2011-ben nevét Cellana-ra változtatták. Központja Hawaii-on illetve Kaliforniában van. A cég biofinomítót működtetve étrendkiegészítő alapanyagokat, állati takarmányt, bioüzemanyagot állít elő édesvízi és tengeri algákat termesztve. Az általuk létrehozott és szabadalmaztatott ALDUO technológiát használják, amely kétlépcsős, hibrid rendszerben, párban kapcsolja össze a fotobioreaktorokat a nyíltvízi medencékkel. E két módszer együttes alkalmazásával biztosítható a gazdaságos (csökkentett beruházási és teljes termelési költség), folyamatos termelés, kizárva az algák felülfertőződését, így egységes monokultúrát létrehozva [15].

A Cellana által létrehozott bioüzemanyagok összefoglaló neve: ReNew Fuel. Három lehetőséget kínál, melyből kettőt szárazföldi, egyet légiközlekedéshez ajánl. Megújuló dízel üzemanyaguk jelenleg a legfejlettebb a piacon. Összetételében megegyezik a hagyományos gázolajjal, így önmagában vagy hagyományos gázolajjal keverve elláthatók vele dízel motorok, és használatával csökkenthető a károsanyagok szintje a kipufogógázokban. Biodízel üzemanyaguk is hasonló tulajdonságokkal bír, de az maximum 20/80%-os arányban keverhető fosszilis tüzelőanyaggal, az utóbbi javára. Előnyei közé sorolható, hogy ként és aromás vegyületeket egyáltalán nem vagy csak nagyon kis mennyiségben tartalmaz, kb. 75%-os szén-dioxid csökkenés érhető el vele a hagyományos tüzelőanyagokhoz képest. Nyers algából készült olaja jó alapanyagot biztosít a civil illetve a katonai légi járművek tüzelőanyag ellátáshoz [15].

ÖSSZEFOGLALÁS

A mikroalgákból megfelelő termelési módszerek, technológiák alkalmazása mellett, az olajos magvakhoz képest bőségesen állítható elő olaj termőföldek használata nélkül, ráadásul fotoszintézisükhöz a légkör nagy mennyiségű szén-dioxidját veszik fel. Lehetőség mutatkozik arra, hogy az ebből előállított biodízel egyelőre részben, később teljesen kiszoríthassa a hagyományos üzemanyagokat. A manapság használatban lévő dízelmotorokban jelenleg csak meghatározott keverési arányban, pár év múlva új fejlesztések révén várhatóan önmagában is alkalmazható lesz. Ez az alternatív üzemanyag valószínűsíthetően a későbbiekben széleskörűen elterjedt a szárazföldi, légi és tengeri járművek üzemeltetésében.

Jelenleg a biodízel elterjedésének több tényező szab határt, kiemelten az előállításának költség oldala. Gazdaságilag kell versenyképessé tenni a hagyományos üzemanyagok mellett, amelyhez elengedhetetlenek a további technológiai fejlesztések. Kiemelten ide tartozik az algák genetikai módosítása az olajhozamhoz kapcsolódó jellemzőik javítása érdekében. További költségcsökkentés várható a termelésben, ha biofinomítót alkalmazva más, újabb termékeket is képesek lesznek előállítani az elhasznált biomasszából (pl. állati takarmányt, étrend-kiegészítőket vagy elektromos áramot, utóbbit visszaforgatva a termelési rendszerbe).

Elmondható, hogy a világ nagy részén egyre több kutatás zajlik ebben a témakörben, és növekszik a vállalatok száma, melyek a biodízel üzemanyag vizsgálatával, fejlesztésével, illetve létrehozásával foglalkoznak. Míg 2006-ban összesen négy cég foglalkozott algatermesztéssel, addig két évvel később már ötven vállalkozás volt érdekelt ezen a szakterületen [6]. Az algatermesztés és bioüzemanyag gyártás rentabilitását és ezen keresztül a befektetési és vállalkozói kedvet az ingadozó olajárak számottevően befolyásolják. Valószínűsíthető, hogy az apadó mennyiségű nyersolaj, az erősödő környezetvédelmi előírások miatt keresni fogják a kutatók a kőolaj kiváltására alkalmas alternatívákat, amely problémára adott egyik válasz a mikroalgák által megtermelt olaj lesz.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] OREGON STATE UNIVERSITY: Generations of Biofuels. Oregon State University honlapja, <http://agsci.oregonstate.edu/sites/agsci.oregonstate.edu/files/bioenergy/generations-of-biofuels-v1.3.pdf> (2017. 02. 08.)
- [2] ARO, EM.: From first generation biofuels to advanced solar biofuels. *Ambio*, 45 1 (2016), 24-31. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4678123/> (2017. 02. 20.)
- [3] Alga. BioLets. <http://www.biolets.com/images/slide3.jpg> (2017. 03. 10.)
- [4] Mikroalga. Febico. <http://www.febico.com/en/health-library/What-is-Microalgae/FL-1-Microalgae.html> (2017.03.14.)
- [5] CHISTI, Y.: Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*, 25 3 (2007), 294-306, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0734975007000262> (2007. 01. 23.)
- [6] GRAMLING, C.: As Green As It Gets: Algae Biofuels. *EARTH The Science Behind The Headlines*, (February 13, 2009.), <https://www.earthmagazine.org/article/green-it-gets-algae-biofuels> (2017. 02. 07.)
- [7] Eartrise Nutritional. *Algae Industry Magazine*. <http://www.algaeindustrymagazine.com/wp-content/uploads/Eartrise-Aerial.jpg> (2017. 03. 14.)
- [8] Biocoil Fotobioreactor. *Advanced Biology*. <http://advbio.cascadeschools.org/94-95/biocoil.html> (2017. 03. 10.)
- [9] Algae-biodiesel. *Bioenergy: Refueling the Future*. <http://refuelingthefuture.yolasite.com/resources/algae-biodiesel.jpg> (2017. 02. 16.)
- [10] BARTHOLY J., BREUER H., PIECZKA I., PONGRÁCZ R., RADICS K.: Megújuló energiaforrások. *ELTE TTK FFI Meteorológiai Tanszék*, (2013), 78. http://ttktamop.elte.hu/sites/ttktamop.elte.hu/files/tananyagok/megujulo_energiaforrasok.pdf (2017. 03. 10.)
- [11] Sapphire Energy vállalat honlapja, <http://www.sapphireenergy.com/>
- [12] Solazyme vállalat honlapja, <http://solazymeindustrials.com/>
- [13] Algae.Tec vállalat honlapja, <http://algaetec.com.au/>
- [14] AlgaEnergy vállalat honlapja, <http://www.algaenergy.es/en/>
- [15] Cellana vállalat honlapja, <http://cellana.com/>
- [16] Agrárodal honlapja, <http://www.agraroldal.hu/mamutszivattyu-kifejezes.html>

POTENTIAL USES OF MICROALGAE IN PRODUCTION OF BIODIESEL FUELS

One third of total energy consumption is shared by land, air and sea transportation, thus several important issues have to be taken into consideration, which are influenced by the use of fossil fuels. Their use causes increasing environmental pollution, besides that, operating costs permanently increase as the price of crude oil increases. Considering these two factors it is worth identify alternative options capable of replacing fuels currently in use, which are, renewable, carbon dioxide-neutral and environmental-friendly. Among alternative fuels one solution can be the use of biofuels, which can be produced from various kinds of biomass, like photosynthetic microorganisms, that is, algae. Oil produced by them may be the appropriate source material for producing biodiesel, moreover, for this process the carbon dioxide from the atmosphere is used.

Keywords: *alternative fuel, fossil fuels, biofuels, biodiesel fuels, microalgae, Green Crude,*

Fehér Krisztina
egyetemi tanársegéd
Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar
Katonai Repülő Intézet
Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék
rozovicsne.fehér.krisztina@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0002-5057-733X

Fehér Krisztina
Assistant lecturer
National University of Public Service
Faculty of Military Science and Officer Training
Institute of Military Aviation
Department of Aircraft and Engine
rozovicsne.fehér.krisztina@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0002-5057-733X

Dr. Óvári Gyula
egyetemi tanár
Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar
Katonai Repülő Intézet
Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék
ovari.gyula@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0002-8604-5861

Dr. Óvári Gyula
Professor
National University of Public Service
Faculty of Military Science and Officer Training
Institute of Military Aviation
Department of Aircraft and Engine
ovari.gyula@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0002-8604-5861

A GINOP 2.3.2-15-2016-00007 „A légitözlekedés-biztonsághoz kapcsolódó interdiszciplináris tudományos potenciál növelése és integrálása a nemzetközi kutatás-fejlesztési hálózatba a Nemzeti Közszolgálati Egyetemen – VOLARE” című projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Regionális Fejlesztési Alap társfinanszírozásával valósul meg.

A kutatás a fenti projekt „AVIATION_FUEL” nevű kiemelt kutatási területén valósult meg.



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_2/2017-2-11-0402_Feher_Krisztina-Ovari_Gyula.pdf

