

ÚJABB GENERÁCIÓS BIOÜZEMANYAGOK PERSPEKTÍVÁI

Bai Attila

Dr. habil, egyetemi docens,
Debreceni Egyetem Agrár- és Műszaki Tudományok Centruma
Gazdálkodástudományi és Vidékfejlesztési Kar
abai@agr.unideb.hu

Az életszínvonal növelése – az energiatakarékosági intézkedések ellenére – egyre több energiát kíván. Ez elsősorban a fejlődő országokban jelentkezik, hiszen ott az energiatakarékoság sokszor még gyermekcipőben jár, de hatással van a hazai importenergia árára, beszerzésének biztonságára, valamint mezőgazdasági piacainkra is. A világ energiafogyasztása 2001–2007-ben évente átlagosan 2,6%-kal növekedett, amit lényegesen meghaladott a bruttó hazai termék (GDP) emelkedése (4,0%), vagyis a fajlagos energiafogyasztás a 2008-as válság előtti években egyre hatékonyabbá vált, a válságot követően mindkét érték visszaesett. Nagy problémaként jelentkezett akkor és napjainkban is azonban a termelés és a felhasználás térbeli struktúrájának eltérése, az EU energiafüggettsége eléri az 55, míg az olajimport a 80%-ot, hazánk pedig még kiszolgáltatottabb, az összes energiánál 66%-os, az olajtermékeknél közel 90%-os importhányaddal (KSH, 2009).

A világon a közlekedési ágazat az összes energiafelhasználásból 30%-kal, de ezen belül a kőolaj-felhasználásból mintegy 70%-kal részesedik, így az üvegházgázok kibocsátásának 30%-áért felelős (Potori, 2008). A globális olajfogyasztás 2004–2009 között 4,8–5

billió l/év között ingadozott, 2009-ben 4,88 billió l/év volt (IEA, 2010). A következő években 0,6–1,6%-os évi növekedéssel (ezen belül a fejlődő országokban ennek többszörösével) számolnak az előrejelzések. Ennek a hatalmas olajmennységnek a fokozatos helyettesítése mind forrás-, mind kibocsátásoldalról rövid távon megoldandó feladat, ám korántsem egyszerű, hiszen az ideális alternatív hajtóanyagoknak egyidejűleg kellene rendelkeznie a következő tulajdonságokkal:

- Rövid távon megújuló
- Gazdaságos, három összehasonlításban is:
 - A kőolajalapú termékekhez képest
 - A többi alternatív hajtóanyaghoz képest
 - Az alapanyagai egyéb célú hasznosításával összehasonlítva is
- Potenciálisan képes az olaj teljes felváltására
- Legalább részben alkalmas az olajvertikum infrastruktúrájának hasznosítására (autópark, töltőállomások, finomítók, csővezetékek)
- Lehetőség szerint kiküszöböli az első generációs biohajtóanyagokkal szemben hangoztatott (bár vitatható) aggályokat, melyek általában a következők:
 - Éhínséget okoznak részben közvetlenül („az autóból töltjük az ételmiszert”), rész-

	Bioetanol 2009 (Ml)		Biodízel 2009 (Ml)		Biogáz/biométán* 2008
	termelés	kapacitás	termelés	kapacitás	termelés
Világ	73 000	n. a.	17 000	n. a.	n. a.
EU	3600 (2,6 e%)	6800	9000 (4 e%)	23 200	7542/230
MO	150 (4–5 e%)	210	120 (3–4 e%)	207	11,1/0

1. táblázat • Az első generációs bioüzemanyagok termelése (Forrás: www.ebb-eu.org, www.ebio.org, www.euobserv-er.org, F. O. Licht In: Popp et al., 2010) Jelmagyarázat: * mértékegység: biogáz esetén ktOE, hajtóanyagként felhasznált biométánnál PJ

ben közvetve (az élelmiszer- és takarmányárak növelése miatt).

- Területet foglalnak el az élelmiszer-előállításától, valamint okai az esőerdők kiirtásának.
- Energetikai hatékonyságuk gyenge, több energiát használunk fel az előállításukhoz, mint amennyit nyerünk a felhasználásukkal.
- Környezet- és természetvédelmi hatásuk negatív, az intenzív termesztésnek és a speciális fajtáknak köszönhetően.
- Kevés munkahelyet teremtenek az automatizált technológiák miatt.

Mindezeknek a követelményeknek ma még egyetlen alternatív üzemanyag sem tesz eleget. Reményeink szerint azonban közép-távon a második és harmadik generációs biohajtóanyagok képesek lehetnek a felsorolt problémák kezelésére. Cikkemben a jelenlegi bioüzemanyag-piac rövid bemutatását követően az újabb generációs hajtóanyagok bemutatásával foglalkozom. A könnyebb összehasonlíthatóság érdekében a gazdasági mutatókat többnyire hazai és SI-mértékegységre átszámolt értékekre átszámítva¹ adtam meg.

¹ 1 US gal = 3,785 l; 1 USD = 220 HUF;
1 EUR = 280 HUF

Az első generációs bioüzemanyagok jelentősége

Az első generációs üzemanyagok közé hagyományosan a cukor- és keményítő-tartalmú anyagokra alapozott bioetanol, valamint a szántóföldi növényekből és állati eredetű melléktermékekből készített biodízelt sorolják. Ralph Sims és Michael Taylor (2008) szerint ide tartozik a biométánból előállított, CNG-t helyettesítő légnemű hajtóanyag is.

2009-ben energia-egyenértékre vetítve a kőolajtermelés mintegy 1,5%-át tették ki az első generációs bioüzemanyagok, a többedik generációsak részaránya elhanyagolható (a megújulókon belül mintegy 0,5%) volt. Az IEA 2014-ig terjedő előrejelzése az olajfogyasztást jóval meghaladó, 42%-os növekedéssel számol a bioüzemanyagok termelésében, s ennek már jelentős hányada második generációs hajtóanyag (várhatóan első-sorban cellulózalapú etanol) lesz. Ha teljesülnek ezek az előrejelzések, akkor fűtőértékre vetítve a benzin 5%-át, a gázolajnak pedig 1%-át fogják helyettesíteni bioüzemanyagok (Popp et al., 2010). A jelenlegi első generációs bioüzemanyag-piac az *1. táblázatban* feltüntetett értékekkel jellemezhető.

A bioetanol a bioüzemanyagokon belül meghatározó, és a második generációs üzem-

anyagok térhódításáig várhatóan tovább fog nőni a részaránya. A termelésben az USA, a világpiacon Brazília szerepe meghatározó, az EU jelenleg a harmadik a termelésben. Az USA-ban 26 Ft/l adókönyvitással támogatják a kukoricaalapú, míg 59 Ft/l-rel az újabb generációs biohajtóanyagok előállítását. Az EU-ban országonként változó mértékű, de hajtóanyag szerint nem differenciált az adókedvezmény. Mindezek ellenére az évente kétszer is betakarítható cukornádból előállított brazil bioetanol versenyképessége nem forog veszélyben, hiszen fajlagos előállítási költsége (65–75 Ft/l) jelentősen alacsonyabb az USA és az EU költségeinél (110–150 Ft/l), a tengeri szállítás pedig nem jelent nagy költségnövekedést.

A bioüzemanyagok mennyiségének jelenleg mintegy 20 tf%-a biodízel, a benne rejlő potenciál azonban lényegesen szerényebb a többi megújulónál. Az EU szerepe mind a termelésben, mind a fogyasztásban meghatározó, s noha a világtermelés közel felét teszi ki, így is importra szorul. Ennek magyarázata az autópark összetétele, mely lényegesen eltér a világ többi részétől. 2004 és 2010 között az újonnan regisztrált autók 47–53%-a volt dízelüzemű, összességében jelenleg az EU-ban az autók mintegy harmada (közel 80 millió), a többi gépjárműnek pedig túlnyomó része működik gázolajjal, így az Unió gázolajfogyasztása kétszerese a benzínének (196, illetve 101 Mt [Eurostat, 2010]). A hazai tendencia ezzel megegyezik, bár kisebb a különbség a személyautókban felhasznált gázolaj és benzin mennyisége között (2,8 Ml, illetve 2,1 Ml [VPOP, 2010]). Az USA-ban a gázolajfogyasztás részaránya mindössze 20%. Az alapanyagok is eltérőek, Európában a repce, az USA-ban a szója a jellemző, terjedőben van azonban olcsósága miatt a Távol-

Keletről importált pálmaolaj. A termelés önköltsége általában eléri a 130–220 Ft/l-t.

A biometán alkalmazására leginkább Svédországban található jól működő referenciák, elsősorban a helyi közlekedésben. A hazai és EU-gyakorlatban a gázüzemű hajtóanyagok közül leginkább a cseppfolyósított propán-bután gázzal (LPG), az USA-ban viszont a sűrített földgázzal (CNG) történő autózás terjedt el, utóbbi infrastruktúrája tökéletesen alkalmas a biometán hasznosítására. Jelenleg világszerte mintegy hárommillió CNG-vel működő és körülbelül tízezer kifejezetten biogázüzemű jármű van forgalomban. Hazánkban, Debrecenben és Szegeden alkalmazzák a CNG-t az autóbusz-közlekedésben, Zalaegerszegen pedig megvalósulóban van a sűrített biometán felhasználását előirányzó önkormányzati program.

A biohajtóanyagok piacát Brazíliában közvetlenül az évente 20–25% között változtatható kötelező bekeverési arány, közvetve a cukor világpiacon árára, az USA-ban az RFS² által, az EU-ban pedig a 2009/28/EC rendelet által 2020-ra elvárt megújulás részarány szabja meg. Mindkét utóbbi szabályozás a többedik generációs hajtóanyagokkal kapcsolatos elvárásokat is tartalmazza (USA: literben, EU: e%-ban kifejezve). Az EU-jogszabály megszabja a különböző biohajtóanyagok életciklusa során kibocsátható károsanyagok mennyiségét (ezen keresztül az alkalmazható mezőgazdasági/ipari technológiákat), import biodízel esetén pedig a termelés fenntarthatósági követelményeit is. A legfontosabb, közeljövőre vonatkozó sarkszámokat a 2. táblázatban mutatom be.

² Renewable Fuel Standard (2007), módosítva az EISA (Energy Independence and Security Act, 2010) által.

Elvárt mennyiség	2010		2012		2020	
	ÖM ¹	2GM ²	ÖM	2GM	ÖM	2GM
EU (e%)	5,75	-	-	-	10	4
USA (millió l)	-	25	-	1893	-	3785
Elvárt ÜHG-kibocsátás	1BE ⁴	1BD ⁵	1BM ⁶	2CE ⁷	2FTD ⁸	2DME ⁹
EU (g CO _{2eq} /MJ) ³	24–70	37–68	15–23	13–25	4–6	5–7

2. táblázat • Biohajtóanyagokkal kapcsolatos elvárások (Források: IEA 2010, Coyle, 2010, valamint 2009/28/EC Directive) • Jelmagyarázat: 1: összes megújuló hajtóanyag – 2: második generációs megújuló hajtóanyag – 3: alapanyagtól és technológiától függően – 4–6: első generációs hajtóanyagok (4: bioetanol, 5: biodízel, 6: biometán) – 7–9: második generációs hajtóanyagok (7: cellulózalapú etanol, 8: Fischer–Trops-dízel, 9: dimetil-éter)

Az USA-ban 2009-ben 41 Mrd l bioetanol állítottak elő, ez a teljes (522 Mrd l) benzinfogyasztás 8%-át tette ki (és felhasználta a kukoricatermés közel egyötödét...). Ám az RFS előírásainak teljesítése a jelenlegi 10%-os bekeverési szabvány megemelésével lenne csak lehetséges, de ez az autógyártók kockázatát is növeli, akik 10%-os mértékig adnak csak járműveikre garanciát. Az EU-ban gázolaj esetén 7%, benzinnél 10% biohajtóanyag (valamint 15% ETBE) keverhető be a szabványos üzemanyagba, mely a nemzeti jogalkotásokban általában még nem jelent meg. Létezik természetesen E-85-ös és B-100-as szabvány is, amely azonban csak FFV³-járművekkel használható fel, amelyek még igen alacsony részarányban üzemelnek. A megújulók térnyeréséhez tehát szükséges lenne a bekeverésre vonatkozó szabványok megemelése, egységesítése, valamint tényleges alkalmazására is.

Jelentősen rontják mindkét első generációs hajtóanyag versenyképességét a kihasználatlan kapacitások, melyek állandó költségei akár 10–15%-kal is alacsonyabbak lehet-

nének teljes kihasználtságnál. A jelenlegi (hazai és EU-) kapacitások teljes kihasználása valószínűleg lehetővé tenné a 2020-ra elvárt 6%-os megújuló részarány teljesítését a gázolajra, melynek alapanyaga hazánkban is biztonságosan megtermelhető lenne. A 4% többedik generációs hajtóanyag megtermelése viszont bizonytalan.

Újabb generációs hajtóanyagok

Az újabb generációs hajtóanyagok közös jellemzője, hogy (1) vagy olyan alapanyagok (például: lignocellulózok, alga) felhasználásával készülnek, melyek élelmiszeripari célra nem (vagy nem jellemzően) használhatók fel, ilyen módon az előállítható hajtóanyagok potenciális mennyisége nagymértékben megnövekszik, (2) vagy hagyományos alapanyagokból (növényi olaj, szénhidrát) állítják elő őket, de jóval fejlettebb technológiával és jobb minőségben, ami felhasználhatóságukat javítja (például: biobutanol, TBK-biodízel). Jóval kisebb a károsanyag-kibocsátásuk az első generációs üzemanyagoknál, a mezőgazdaságon kívül pedig az erdészetekben is munkahelyeket teremtenek, valamint képesek felhasználni mezőgazdasági melléktermékeket

³ Flexible Fuel Vehicle

(szalma, hígtrágya) is. Önköltségük, valamint fajlagos beruházási költségük azonban jelenleg jóval magasabb az első generációs üzemanyagokénál – különösen a cukornádalapú bioetanolénál. Ezek a beruházások a kialakulatlan technológia és a bizonytalanabb piac miatt is kockázatosabbak az első generációs üzemeknél. Megjegyzendő azonban, hogy nemcsak az élelmiszernövények iránti igény, hanem a cellulóz ipari kereslete (textilipar, lebomló csomagolóanyagok) is várhatóan jelentősen emelkedni fog. Emiatt ez az alapanyag is fel fog értékelődni, a véges mennyiség miatt pedig ebben a szférában is komolyabb versenyhelyzet prognosztizálható.

Az újabb generációs hajtóanyagok előállítása elvileg a következő eljárásokkal képzelhető el (Coyle, 2010; Hancsók et al, 2006):

Biokémiai

- *Hidrolízis*: a cukortartalmú cellulóz és hemicellulóz elválasztása a lignintől, majd savak vagy enzimek segítségével egyszerű cukrokká bontása, végül – az első generációs etanolhoz hasonlóan – erjesztéssel és desztillálással üzemanyag-minőségű (95%-os) alkohol előállítása. Ilyen módon állítható elő a cellulózalapú etanol. Speciális mikrobákkal az etanolnál hosszabb szénláncú alkoholok (például biobutanol) is előállíthatók.
- *Katalitikus depolimerizáció/hidrogenizáció/heteroatom-eltávolítás*: állati vagy növényi olajokból gázolaj-helyettesítő végtermékek (algadíz, biogázolaj, TBK-biodíz) előállítása a nagy szénatomláncú zsírsavak méretének, illetve telítettségének megváltoztatásával.

Termokémiai

- *Elgázosítás*: oxigénzegény környezetben és magas hőmérsékleten (cca. 800 °C) eltűzelve a biomasszát CO₂-ot, CO-ot és

H₂-gáz elegyét kapjuk. A CO és a H₂ szintézisgázzá alakítható, mely többféleképpen konvertálható hajtóanyaggá:

- Fermentálással etanolá
- Fischer–Trops-szintézissel dízelolajj, vagy repülőgép-hajtóanyaggá
- Katalízissel többféle alkohollá, jellemzően metanolá.

- *Pirolízis*: alacsonyabb hőmérsékleten (cca. 500 °C), légköri nyomáson, oxigén teljes hiányában hevítve, majd gyorsan lehűtve a biomasszát, különféle bioolajok (pl. biometanol) desztillálhatók, melyekből finomítást követően olajtermékek széles spektruma lehet a végtermék.

A jelenleg is gyakorlati jelentőséggel bíró cellulózalapú bioetanol mellett a legperspektivikusabbnak tűnő újabb generációs biohajtóanyagok legfontosabb jellemzői:

Biobutanol: az etanolnál hosszabb szénatomláncú magasabb fűtőértékű (a benzinnel 90%-át), bár kisebb oktánszámot eredményez. A nagyfokú hasonlóság és a vízmentesség a benzinnel könnyebb keverhetőséget, és a csővezetékes szállítást is lehetővé teszi.

Biogázolaj: nagy nyomáson (cca. 60 bar) és magas hőmérsékleten (360–380 °C) növényi olajokból előállított magas (50% fölötti) normálpárafőző-tartalommal rendelkező hajtóanyag, melynek főbb tulajdonságai (fűtőérték: 44 MJ/kg, viszkozitás: 2,9–3,5, cetánszám: 70–90) felülmúlják nemcsak a biodízel, hanem a gázolaj jellemzőit is (Hancsók et al, 2006).

TBK-biodíz: növényi olajok rövid szénláncú zsírsavak alkilésztereiivel történő részleges átészterezésével kapott hajtóanyag. 30%-kal magasabb O₂-tartalma miatt hatékonyabb és tisztább az égése, magasabb a fűtőértéke (38–39 MJ/kg) a hagyományos biodízelnél, jó a viszkozitása (5–6), a végter-

mék alacsonyabb jódszáma (100–110) miatt a napraforgóból is előállítható ezen eljárással szabvány-minőségű biodízel. A folyamat során a hagyományos eljáráshoz képest kb. 10%-kal több biodízel képződik, ugyanakkor a glicerinképződés elmarad. Működő biodízelüzemek is könnyen átállíthatóak az új technológiára (Thész et al., 2008).

Biometanol: szerves hulladékból pirolízissel előállított, téli üzemelésre is kiválóan alkalmas, az etanolnál alacsonyabb hőmérsékleten elégő, jóval kevesebb károsanyagot (különösen NO_x-et) kibocsátó üzemanyag. Előállítható a biodízelgyártás melléktermékéből (glicerinből) is. Energiatartalma közel megegyezik a benzinnel. A hagyományos szemétegetéssel szemben a folyamatban nem keletkeznek dioxinok és kátrány. Hazai viszonyok között hulladékból elvileg 30 Ft/kg költséggel előállítható a hagyományos eljárások 100 Ft/kg-os költségével szemben (Raisz – Barta, 2007).

Dimetil-éter: rendszerint szintézisgázból közvetlenül vagy az ebből előállított biometanolból vízelvonással termelhető gáz, mely 5–8 bar nyomáson cseppfolyósítható és ilyen módon LPG-vel is keverhető. Nemcsak adalék- és üzemanyagként, hanem gázturbinák, üzemanyagcellák működtetésére is alkalmazható. Életciklusa során a legtöbb bioüzemanyagnál kevesebb károsanyagot bocsát ki. Beruházási költségét biomassza-kapacitástól függően 100–230 eFt/t-ra (Fairley, 2008), önköltségét pedig fa alapanyag esetén 3800–4000 Ft/t-ra (www.renew-fuel.com) becsülik.

Hidrogén: a hajtóanyagok közül legnagyobb az energiasűrűsége (120 MJ/kg), jól tárolható és sokféle célra felhasználható. Jelenleg 50%-át földgázból, 30%-át kőolajból, 16%-át szénből állítják elő, ám megújuló

alapanyag (biogáz, bioetanol, szél/napenergiával történő vízbontás) esetén életciklusa elvileg teljesen CO₂-semlegessé tehető. A víz átalakításának határfoka elektrolízissel eléri a 60–85%-ot. Glükóz alapanyag esetén, módosított *E. coli* baktériumokkal értek már el 50%-os határfokot (Maeda et al, 2008). Elterjedését a kapcsolódó infrastruktúra kiépítésének drágasága gátolja leginkább. A hagyományos (fosszilis alapú) előállítási módokkal a hidrogén önköltsége 2009-ben 400–700 Ft/kg, szélerőműves hidrolízis esetén 1500–1600 Ft/kg, napelemmel pedig 6000–6200 Ft/kg körül mozog (Mayer, 2009). Connecticuti (www.nrel.gov, 2009) adatok alapján a buszközlekedésben (22 ezer km futásteljesítmény alapján) mintegy háromszor volt drágább a hidrogénbuszok üzemeltetése a következő adatok alapján: hidrogénbusz: 13 kg/100 km fogyasztás, 1166 Ft/kg H-ár, fenntartás: 294 Ft/km; dízelbusz: 61 l/100 km fogyasztás, 156 Ft/l dízelár, fenntartás: 54 Ft/km

Alga-biodízel: az algaolaj sok szempontból (sűrűség, viszkozitás, fűtőérték) közelebb áll a dízelolajhoz a többi növényi olajnál, ugyanakkor a többi növényolajnál több többszörösen telítetlen zsírsavat tartalmaz. Ez hátrányosan befolyásolja a belőle készített biodízel stabilitását, viszont jóval könnyebb hidegindítást tesz lehetővé. Az algaolaj nagy telítetlen zsírsavtartalma, magas jódszáma, valamint magas nyomelem-tartalma táplálkozás-élettani szempontból kiválóak, azonban az algaolaj átészterezését megnehezíthetik. A biodízel előállítás folyamata megegyezik az első, illetve többedik generációs biodízelekével, az alapanyag előállítása azonban környezetvédelmi szempontból (szennyvíz-, hulladékhő- és szén-dioxid-hasznosítás) egyedülállóan hatékony rendszer, mely jól társítható egyéb

Üzemanyag	Összetétel	Fűtőérték MJ/l	Sűrűség kg/l	Oktánszám	Cetánszám
Benzin	C ₄ -C ₁₂	31–32	0,72–0,77	90–95	
Gázolaj	C ₁₅ -C ₂₀	35–36	0,82–0,84		45–53
Biodízel (RME)	C ₁₆ -C ₁₈	34	0,885		51
Bioetanol	CH ₃ CH ₂ OH	21	0,79	101	
Bio-metanol	CH ₃ OH	15,5	0,79	110–112	
Bio-gázolaj	C ₁₂ -C ₂₀	33–34	0,77–0,78		70–90
Dimetil-éter	(CH ₃) ₂ O	18–19	0,66–0,67		55–60
Hidrogén	H ₂	8,9	0,074	106	

3. táblázat • Hajtóanyagok legfontosabb jellemzői

(Forrás: Kavalov et al., 2005; Hancsók et al., 2006)

energia-előállítási módokkal. Potenciális mennyisége alkalmas lenne elvileg akár az olaj teljes helyettesítésére is. Az algaolaj önköltségét a szakirodalmi adatok 150–700 Ft/l közé teszik, amit elsősorban a technológia, az időjárás és a termesztés helye befolyásol. A gazdaságos betakarítási mód kiválasztásának jelentőségét mutatja, hogy nyílttavi technológiánál meghaladhatja a termesztés költségeit.

A fosszilis üzemanyagok és egyes (előzőekben nem számszerűsített) első- és második generációs biohajtóanyag néhány fontos jellemzőjét mutatja be a 3. táblázat.

Gazdasági jellemzők

A kőolaj árváltozása többirányú hatással jár. Részben növeli a bioüzemanyagok alapanyagaiért kifizethető árat, ami maga után vonja ugyanezen termékek élelmiszeripari/faipari árának növekedését is. Másrészt, begyűri a földgáz árába, ezen keresztül a bioüzemanyagok (elsősorban a bioetanol) termelési költségeibe, növelve annak önköltségét. Harmadrészt pedig, minden növény termelési költségét jelentősen emeli, hiszen közvetlen hatással van az energia-,

szállítási- és műtrágya-költségekre, közvetett módon pedig hatással van az összes anyagi jellegű költségre. Egyúttal megszabja a gazdaságos szállítási távolságokat, illetve módokat is. A százalékos értékben kivett adókon (például ÁFA) keresztül befolyásolja az állami bevételeket is. A magas olajár az infláció növelése miatt már veszélyeket hordoz a világgazdaság fejlődésére.

A kukorica- és cellulóزالapú etanol önköltségének nagysága és költségszerkezete közötti különbséget a 4. táblázatban mutatom be. 2009-es üzemi adatok (Novozymes Inc., Poet) alapján a cellulóزالapú etanol önköltsége 120–140 Ft/l-re csökkent. 2012-re szakértők nem tartják lehetetlennek a 60 Ft/l önköltség elérését sem, ebben várhatóan döntő szerepe az alapanyagköltség alakulásának lesz. A 60 Ft/l önköltség eléréséhez a BRDB⁴ szerint legfeljebb 9–13 eFt/atro t⁵ (szállítást és tárolást is tartalmazó) költséggel lehetne beszerezni az alapanyagot. Mivel az így elérhető jövedelem a hagyományos szántóföldi növények áraival nem versenyképes,

⁴ Biomass Research and Development Board (USA)

⁵ Abszolút száraz állapotban mért tömeg

	Önköltség (HUF/l)	Alapanyag- ktg (%)	Amortizá- ciós ktg (%)	Enzim- költség (%)	Egyéb ktg (%)
Kukoricaalapú etanol (2007)	96	58	10	2	30
Kukoricaalapú etanol (2009)	75–134	64–80	6–12	2–5	12–19
Cellulózalapú etanol (2007)	154	36	20	15	29
Cellulózalapú etanol (2009)	128				

4. táblázat • Első és második generációs bioetanol önköltsége és ennek megoszlása
(Forrás: Collins, 2007; Biozio, 2009) Megjegyzés: 1 USD gal = 3,785 l, 1 USD = 220 HUF,
2009: igen magas kukoricaárak

az USA-ban 9–10 eFt/atro t támogatást fi-
zetnek a termelőknek az alapanyag-termesz-
tésért. A melléktermékek viszont jóval ér-
tekesebbek a kukoricaalapú technológia
esetében (2009: 20–22 Ft/l), mint a cellu-
lózánál (2009: 6 Ft/l, Biozio, 2009).

A fajlagos beruházási költségek az újabb
generációs hajtóanyagoknál bár lényegesen
csökkentek (2008: 200–250 Ft/l/év), de még
mindig mintegy háromszor nagyobbak a
kukoricát feldolgozó üzemeknél (2008: 70–
80 Ft/l/év, 5. táblázat).

Cellulózalapú etanolüzemek

Hivatkozás	DOE ⁶ (2004)	Foust (2007) in Collins (2007)	Iogen ⁷ (2006)	Ring (2008) in Coyle (2010)
Üzemi méret (Mgal/év)	100	100	50	100
Beruházási költség (MUSD)	650–900	320–340	300	400
Fajl. beruházási ktg (Ft/l/év)	378–523	186–198	349	232

Kukoricaalapú vagy vegyes alapanyagú etanolüzemek

Hivatkozás	DOE (2004)	Abengoa ⁵ (2007)	DOE (2006)	Biozio ⁵ (2009)
Üzemi méret (Mgal/év)	100	85 kukorica + 11,6 cellulóz	50	100
Beruházási költség (MUSD)	130–230	400	65	125
Fajl. beruházási ktg (Ft/l/év)	76–134	241	76	73

5. táblázat • Első és második generációs bioetanol-előállítás beruházási költségei
(Megjegyzés: 1 USD gal = 3,785 l, 1 USD = 220 HUF)

⁶ Department of Energy, USA

⁷ A cellulózalapú bioetanol előállításának meghatározó nagyvállalatai.

	Cellulózalapú bioetanol	Biobutanol	Egyéb újabb generációs	Összesen
2009, tény	38	4	293	335
2012, várható	844	199	328	1371

6. táblázat • Újabb generációs biohajtóanyag üzemek kapacitása az USA-ban (Me.: Ml/év)
(Forrás: Coyle, 2010)

Az USA-ban, mint termelést meghatározó országban, jelenleg huszonnégy újabb generációs hajtóanyagot előállító üzem működik, a 6. táblázatban látható megoszlásban.

A közeljövőben várhatóan a cellulózalapú bioetanol lesz a meghatározó az újabb generációs hajtóanyagok közül, a 2009-es év eltérő arányait egy nagyméretű (284 Ml/év kapacitású), állati zsírokat feldolgozó beruházás üzembe helyezése okozta. 2022-re a 2007-ben elfogadott EISA⁸ előirányzata szerint az USA bioüzemanyag-termelése 136 Mrd l/év-re, ezen belül a cellulózalapú bioetanol részaránya 61 Mrd l/év-re fog növekedni.

Hazai lehetőségek

Összességében kijelenthető: az első generációs bioüzemanyagok nem képesek megfelelni a sokszor egymásnak is ellentmondó elvárásoknak. Drágábbak, mint a kőolaj – de hazánkban megtermelhetők és környezetbarátabbak. Kiseb lehetne a területhasználata az intenzív termeléssel – ami környezetvédelmi szempontból aggályos. Látszólag kevés munkahelyet teremtenek, ám azt éppen vidéken, ám jelentős a tovaryűrűző hatásuk. Amennyiben drágák, az leginkább abból adódik, hogy magas az alapanyag-költségük – ami éppen a növénytermesztő gazdáknak kedvez. Gazdaságosságuknak pedig alapfeltétele, hogy a mellékterméket takarmánnyként visszajuttas-

sák az állattenyésztésbe. A második generációs hajtóanyagok jelenleg még drágábbak, de motorikus, környezetvédelmi és területhasználati szempontból jobbak az első generációs üzemanyagoknál, költségük is egyre csökken. Amennyiben azonban az újabb generációs hajtóanyaggyártás felváltja az első generációt, gazdasági szempontból akkor is többirányú, ellentétes hatással számolhatunk:

- A gabona/olajnövény/cukor kereslete és ára valószínűleg kevésbé fog emelkedni.
 - előnyös: az élelmiszer-feldolgozóknak és -fogyasztóknak, valamint az állattenyésztőknek és a takarmányvertikum többi szereplőjének
 - hátrányos: a növénytermesztőknek
- A faipari termékek, valamint a növénytermesztés melléktermékeinek kereslete/ára magasabb lesz
 - előnyös: a növénytermesztőknek és az erdészeteknek
 - hátrányos: a biomasszát tüzelőknek (lakosság, biofűtőművek, bioerőművek)
- Eltűnnek a piacról az első generációs üzemanyagok melléktermékei, így a takarmányárak növekedni fognak.
 - előnyös: a takarmány-forgalmazóknak
 - hátrányos: az állattenyésztőknek

Az arányok változásától függően átalakulhat a szántóföldi vetésszerkezet az energetikai ültetvények javára. Ennek előnye a rosszabb adottságú szántóföldek művelésbe vonása, hátránya pedig a fokozódó erdőirtás lehet.

⁸ Energy Independence and Security Act (USA)

Nyilvánvaló, hogy valószínűleg sohasem fog létezni olyan hajtóanyag, mely egyszerre olcsó, környezetbarát, nem veszélyezteti egyik szektor érdekeit sem, korlátlan alapanyagbázissal és végtermékpiaccal rendelkezik, és sok munkahelyet teremt.

Az újabb generációs termékek térnyerése a kőolaj- és a mezőgazdasági alapanyagárak, a CO₂-kibocsátás egészségárainak várható emelkedése, valamint a fejlettebb technológiák miatt várhatóan éveken belül felváltja előbb az első generációs biodízel, majd a kukorica-alapú, végül (hosszabb távon) esetleg a cukornád-alapú bioetanol előállítását is. Úgy vélem, hogy ebben az átmeneti időszakban a második generációs üzemanyagok gazdaságossá válásáig az energiahatékonyságra (például hulladék hő kötelező felhasználására), valamint a károsanyag-kibocsátás csökkentésének mértékére (esetleg költségére) vonatkozó előírások – és ezek szigorú betartatása – környezeti/energetikai szempontból fenntarthatóvá tehetnék az első generációs üzemanyagok előállítását is.

Hazánkban szinte minden újabb generációs biohajtóanyaggal kapcsolatban folynak üzemi kísérletek. Külföldön már nagyüzemi alkalmazásokra is szép számmal találhatunk példát. Megjósolhatatlan, hogy ezek közül melyik eljárás, milyen mértékben és milyen gyorsan fog elterjedni világszerte. Személyes véleményem szerint hazánkban a szennyvíz-gazdálkodással (lehetőleg anaerob erjesztéssel) összekötött, füstgázbevezetéssel kombinált, egyszerűsített (olcsóbb) PBR-technológiát alkalmazó, a melléktermékeket takarmányozásra hasznosító, nagy olajtartalmú algafajok termesztése és második generációs technológiával történő átalakítása (biogázolajj, vagy TBK-biodízellé) tekinthető az egyik legígéretesebb alternatívának, környezetvédelmi és

gazdasági szempontból, valamint újdonság-tartalmát tekintve is. További perspektivikus lehetőségek is szép számmal akadnak:

- Részben cukorcirok alapanyagra alapozott kisüzemi etanolüzemek és kapcsolt biotávfűtőművek vagy bioerőművek.
- Települési szilárd hulladékok vagy glicerinnel átalakítása biometanollá nagyobb települések/biodízelüzemek környezetében.
- Komplex energiafarmok létrehozása, biogáz- és kapcsolt bioetanol-üzemekkel, valamint állattenyésztési, növénytermesztési háttérrel, lehetőleg szárítóüzemmel, üvegházzal, esetleg élelmiszer-feldolgozóval/tárolóval. Előbbiek az alapanyagot, utóbbiak a hőhasznosítást lennének hivatva biztosítani.
- Nagyobb települések szennyvíz- és szilárd hulladék telepein képződő biogáz összegyűjtése, tisztítása és a helyi vagy rövidtávú helyközi közlekedés (buszok, taxik) átállítása biometánra.

Úgy vélem, hogy a második generációs bioüzemanyag-technológiák közül hazánkban azok kerülhetnek rövid távon is elsősorban előtérbe, melyek (1) nemcsak energetikai, hanem hulladékgazdálkodási szempontból is új alternatívát jelentenek (például biometanol), vagy (2) melyek szűkös hazai alapanyagbázis (elsősorban a repce) bővítését teszik lehetővé új alapanyagokkal (például biogázolaj, algaolaj-metilészter) és lehetőleg a már meglévő infrastruktúra minél kisebb változtatásával (pl. TBK-biodízel). A zöldhő és -áram előállításával szemben a biohajtóanyagok előállításakor nemcsak a helyi, illetve hazai, hanem az európai piacok (elsősorban a gázolajüzemű járművek) növekvő keresletével is számolhatunk. Az olajnövények előállításának korlátai miatt már a jelenlegi alacsony felhasználási szinten is biodízeliimportra szo-

rul az EU, a 2020-as elvárások (6+4%) teljesítése pedig gyakorlatilag korlátlan piacot jelenthet a hazai termelők számára is. Hazánkban a gázolaj-helyettesítő termékek esetében csak az újabb generációs hajtóanyagokkal van esélye betörni erre a piacra, hiszen a hagyományos biodízel-termelésben a minőségi előírás-

sok miatt a repcetermelés döntő szerephez jut, és ennek termesztése a hazai éghajlati viszonyok között versenyképtelen a nyugat-európai versenytársakkal szemben.

Kulcsszavak: *bioüzemanyag, bioenergia, megújuló, második generációs, ökonómia*

IRODALOM

ACEA (2010): *EU Economic Report*. www.acea.be

Bai Attila (2009): *Első generációs bio-hajtóanyagok alkalmazása a helyi tömegközlekedésben*. Habilitációs értekezés. Debreceni Egyetem AMTC GVK. Debrecen, 1–67.

BIOZIO (2009): *Comprehensive Cellulosic Ethanol Report*. Tamilnadu (India)

Collins, Keith (2007): *The New World of Biofuels: Implications for Agriculture*. Presentation at Energy Information Administration (EIA) Energy Outlook, Modeling, and Data Conference. 28/03/2007. • <http://www.eia.doe.gov/oiaf/aeo/conf/pdf/collins.pdf>

Coyle, William T. (2010): *Next-Generation Biofuels. Near-Term Challenges and Implications for Agriculture*. BIO-01-01. • USDA <http://www.ers.usda.gov/publications/bio0101/>

Eurostat (2010): www.epp.eurostat.ec.europa.eu

Fairley, Peter (2008): *Taking Pulp to the Pump*. www.technologyreview.com/energy/21811

Hancsók Jenő – Krár M. – Kovács S. – Boda L. – Leveles L. – Thernesz A. (2006): *Bio-motorhajtóanyagok. Jelen és jövő*. IX. Biomassza Konferencia. Sopron

IEA (2010): • www.iea.org

Kavalov, Boyan – Peteves, Stathis Dimitris (2005): *Status and Perspectives of Biomass to Liquide Fuels in the EU*. JRC, Petten • http://ebookee.org/status-and-perspectives-of-biomass-to-liquid-fuels-in-the-European-union_755713.html

KSH (2009): www.ksh.hu

Maeda, Toshinari – Sanches-Torres, V. – Wood, T. K. (2008): *Metabolic Engineering to Enhance Bacterial Hydrogen Production*. *Microbial Biotechnology*. 1, 1, 30–39.

Mayer Zoltán (2009): *Hidrogén szélenergiával történő előállításának lehetőségei*. BME Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék, Budapest • http://www.emet.hu/files/cikk41_wind_hydrogen_CIKK-FINAL.pdf

Popp József – Somogyi A. – Bíró T. (2010): Újabb feszültség a láthatáron az élelmiszer- és bioüzemanyagipar között? *Gazdálkodás*. 54, 6, 592–603. • http://www.gazdalkodas.hu/index.php?l=hu&p=cikk&cikk_id=796

Potori Norbert (2008): *Kilátások a főbb növényi termékek világpiacon*. AKII, Budapest

Raisz Iván – Barta István (2007): *Metanol-előállítás kommunális- és ipari hulladékból, szennyvíziszapból és agrár (erdészeti) hulladékból oxigénbázisú szintézisgázon keresztül*. Szabadalmi bejelentés.

Sims, Ralph – Taylor, Michael et al. (2008): *From 1st to 2nd Generation Biofuel Technologies*. IEA Bioenergy. • http://www.iea.org/papers/2008/2nd_Biofuel_Gen.pdf

Thész János – Boros B. – Király Z. (2008): *TBK Biodízel*. Technikai ismertető. Budapest

Internet:

www.abengoabioenergy.com

www.akii.hu

www.ebb-eu.org

www.ebio.org

www.energy.gov (DOE)

www.eurobserv-er.org

www.iea.org

www.iogen.ca

www.ksh.hu

www.nrel.gov/hydrogen/pdfs/47334-1.pdf

www.renew-fuel.com

www.vam.gov.hu (VPOP)