

Fehér Krisztina¹

ALTERNATÍV TÜZELŐANYAGOK ALKALMAZÁSA A REPÜLÉSBEN (APPLICATION OF ALTERNATIVE FUELS IN AVIATION)

Az egyre szigorodó környezetvédelmi előírások, a kitermelhető fosszilis eredetű nyersanyagok mennyiségének csökkenése, valamint a folyamatosan növekvő energiaigények szükségzerű következménye az új, alternatív tüzelőanyag fajták (köztük a bio-, illetve szintetikus) intenzív kutatása, fejlesztése. Fő szempont, hogy ezek megközelítőleg olyan fizikai jellemzőkkel rendelkezzenek, mint a hagyományos társaik. Azaz önmagukban vagy az előbbiekkal keverve alkalmazhatóak legyenek a rendelkezésre álló légitársaságok hajtóműveiben, melyeket ehhez nem vagy csak kis mértékben kell átalakítani. Előnyük, hogy olyan alapanyagokból állíthatóak elő, melyek nagy mennyiségben megtalálhatóak környezetünkben (pl. kőszén, szén-dioxid), ezáltal újrahasznosíthatóvá váló hulladékok, (pl. tilápia hal fogyasztásra alkalmatlan részei, városi szilárd hulladék), illetve olyan növények, mikroorganizmusok (pl. alga), amelyek termesztése, a belőlük előállított nyersanyagok létrehozása nem terhelik a környezetet.

Kulcsszavak: repülés, légitársaság, alternatív tüzelőanyag, bioüzemanyag, szintetikus üzemanyag

The ever-tightening environmental regulation, the reduction of the extractable fossil energy sources and the continuously increasing energy demands necessarily require the intensive research and development of new alternative fuels (including bio and synthetic). The main requirement is that they must have approximately the same physical characteristics as their conventional counterparts. Practically it means, that they can be used alone or in combination with the traditional fossil fuels and burnt in the engines of available aircraft without any or with small modification of the engines. Their advantage is that they can be produced from raw materials that can be found in large quantities in our environment (eg. coal, carbon dioxide), thus making the wastes recyclable (eg. the waste of tilapia fish which unsuitable for consumption, urban solid waste) or plants, microorganisms (such as algae), which cultivation and the production of raw materials produced from them, does not burden the environment.

Kulcsszavak: aviation, aircraft, alternative fuel, bio fuel, synthetic fuel

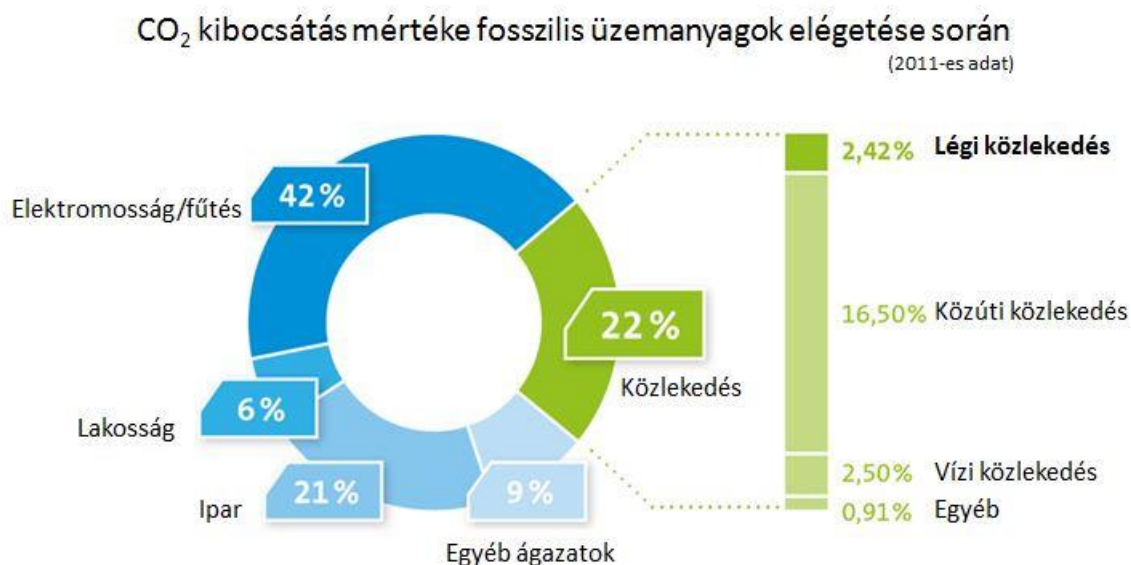
BEVEZETÉS

A XXI. századra kiemelten fontossá vált - szigorodó környezetvédelmi előírások mellett - a növekvő energiaszükségletek kielégítése. Jelenleg döntően fosszilis eredetű energiahordozókkal fedezzük az igényeket, amelyek nem csak környezetszennyezők, hanem áruk észrevehetően folyamatosan növekszik (kisebb-nagyobb visszaesések tapasztalhatók) és az előrejelzések szerint ez a tendencia nem fog változni. Ezt befolyásolja az egyre bonyolultabb kitermelési módszerek alkalmazása, az alapanyagok csökkenő mennyisége,

¹ Nemzeti Közszolgálati Egyetem, egyetemi tanársegéd, E-mail: rozovicsne.fehér.krisztina@uni-nke.hu ORCID: 0000-0002-5057-733X

illetve a világpolitika hatása is. Az energiaellátó szektor mellett a közlekedést is érintik e problémák, így a légi járművek üzemeltetésére is hatással vannak.

Környezetvédelmi szempontokat is figyelembe kell venni, hiszen kutatások bizonyítják, a Föld átlaghőmérséklete évről-évre növekszik, amelyért az üvegházhatású gázok, főként a szén-dioxid a felelős. 2016-ban a légkör CO₂ tartalma rekordot döntött, elérte a 403,3 ppm²-t [1][26]. A közlekedési ágazat növekvő mennyiségben bocsátja a légkörbe üvegházhatású gázokat, melyben egyre jelentősebb szerepe van a légi közlekedésnek legyen az katonai vagy civil. 2011-es adat szerint a repülés a fenti ágazatból 2,42 %-ért felelős (1. ábra).



1. ábra CO₂ kibocsátás mértéke fosszilis üzemanyagok elégetése során [2].³

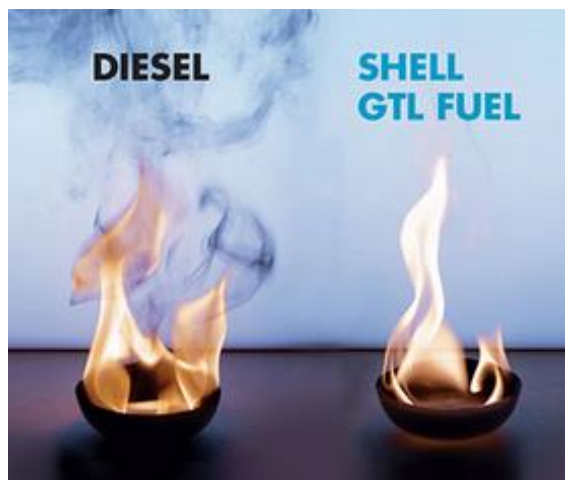
A felmerülő gazdasági és környezetvédelmi kérdések megoldására szükségessé válik az alternatív energiaforrások felkutatása, és azok alkalmazása a légi közlekedés területén is. Több szempontot is figyelembe kell venni ezek felhasználása során:

- környezetbarát felhasználhatóság miatt tisztább legyen az égés (2. ábra), így kevesebb károsanyag kerüljön a környezetbe;
- előállítási költségeik lehetőleg alacsonyabbak legyenek a hagyományos tüzelőanyagokéhoz;
- gyártásuk nem történhet környezetszennyező technológiával, kedvező, ha ehhez is megújuló energiaforrásokat használnak;
- repülés-biztonság szempontjából maradéktalanul feleljenek meg a jelenleg érvényben lévő tüzelőanyag szabványoknak;
- részben vagy egészben kiválthatók legyenek velük a jelenleg használatos tüzelőanyagok, illetve a hagyományos tüzelőanyag-rendszerbe alkalmazhatóak legyenek kisebb átalakításokat megengedve [11][26];

² milliomod térfogatrész (part per million - ppm)

³ Bundesverband der Deutschen Luftverkehrswirtschaft honlap, https://www.bdl.aero/download/1350/bdl_ee2014_eng_s6_2.png

- nem befolyásolhatják kedvezőtlenül a hajtóművek gazdaságos és üzembiztos működését, nem csökkenthetik javításközi és összes üzemidejét [27].



2. ábra Hagyományos és GTL tüzelőanyag égése [3].⁴

A szintetikus és bioüzemanyagok nehezen kezelhetők külön. A különféle szakirodalmakban is találhatóak átfedések a két terület között, viszont léteznek olyan alternatív tüzelőanyag típusok köztük, melyek egyértelműen sorolhatóak egyik vagy másik csoportba.

BIOÜZEMANYAGOK

A bio- és a fosszilis eredetű üzemanyagok alapanyagai megegyeznek: állati vagy növényi biomasszából származnak, anaerob bomlás⁵ eredményeképpen jönnek létre. Biomasszaként megjelennek emberi ételmezésre és állati takarmányozásra alkalmas (kukorica, burgonya, stb.), illetve alkalmatlan (energiafűvek, különféle fafajták, stb.) növények, továbbá ipari, mezőgazdasági, lakossági hulladékként. A bioüzemanyagokat alapanyagaikat és termőterületüket tekintve négy csoportba, úgynevezett generációkba lehet sorolni.

Bioüzemanyagok generációi

Első generációs bioüzemanyagok alapját az emberi fogyasztásra alkalmas növények szolgáltatják, melyekből olaj, keményítő és cukor készül, majd fermentálás, illetve transzészterezés útján etanol, biodízel készül. Ennek az alternatív tüzelőanyagoknak állati, továbbá használt sütőzsiradék is lehet alapanyaga.

⁴ Rheinland Energie honlapja, http://www.rheinland-energie.de/fileadmin/_processed_/csm_shell-gtl-comparison_8e7a2389ce.jpg

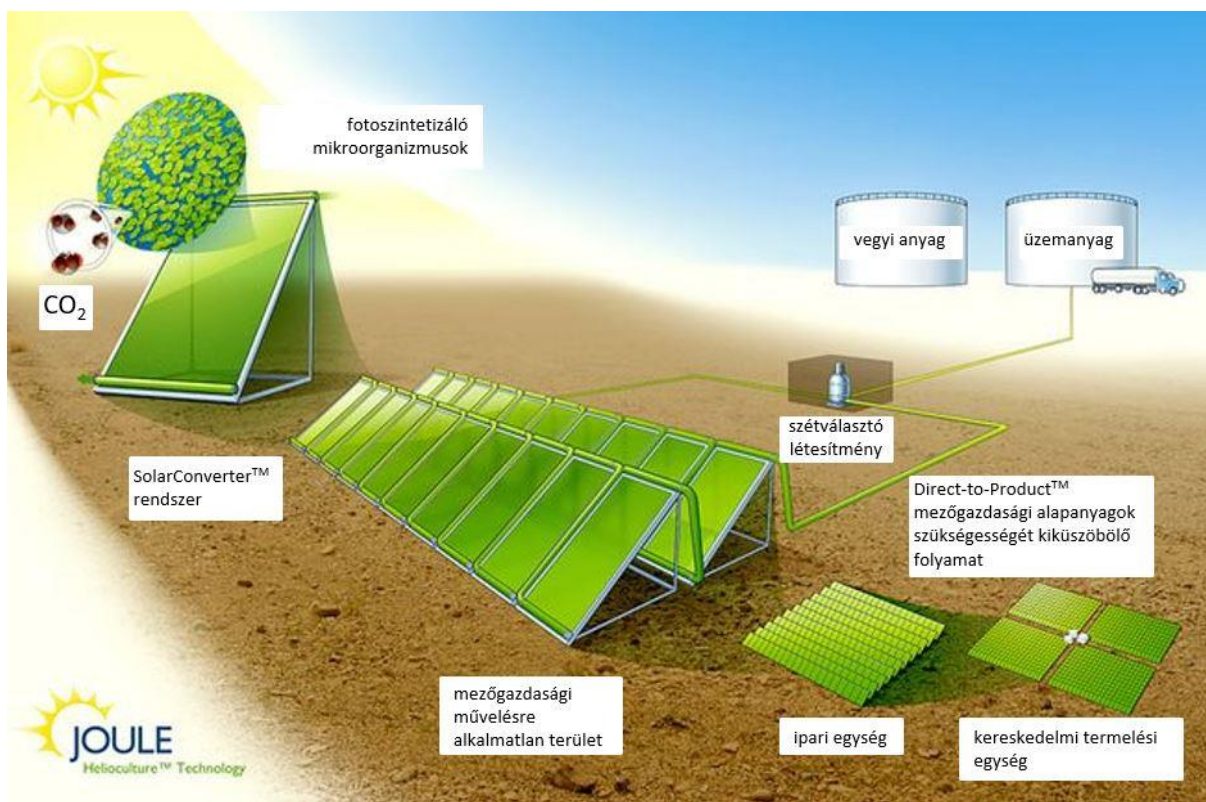
⁵ Olyan kémiai átalakulás, többnyire mikroorganizmusok (aerob szervezetek) hatására végbemenő szervesanyag-leépülés (bomlás, fermentáció), amelynek feltétele a levegő, illetve az oxigén jelenléte. Az ~ egyik jellemzője a természeti átalakulásoknak, (pl. korhadás) és az aerob hiodegradációs eljárásoknak (pl. komposztálás, erológiai szennyvíztisztítás). Az aerob bomlás eredményeként a szerves anyagok jelentős hőfejlődéssel, de jelentős bűz-, illetve szagképződés nélkül szén-dioxidra és vízre, nitráttá és nitráttá, szulfidra és szulfáttá, valamint foszfáttá alakulnak (ásványosodás).
http://www.kislexikon.hu/aerob_folyamat_aerob_bomlas_aerob_fermentacio.html

A *második generációs bioüzemanyagok* növényi nyersanyagait is művelésre alkalmas termőföldeken termesztik, de az előzőtől eltérően élelmezésre és takarmányozásra alkalmatlan növényekből, illetve különféle hulladékokból állítják elő termo- és biokémiai eljárásokkal.

Míg e két bioüzemanyag kategóriánál etikai kérdések merülnek fel társadalmi és környezetvédelmi téren (élelmezésre szánt növényekből lehet-e üzemanyagot előállítani addig, amíg éhínség van a Földön, illetve mekkora részt sajátíthat ki az ember erre a célra a bioszférából), addig a harmadik és negyedik generációsoknál ezek már nem vetődnek fel.

A *harmadik generációs bioüzemanyagok* alapjául szolgáló olajakat főként algákból nyerik ki. E mikroorganizmusok a légkör szén-dioxidjából, napsugárzás segítségével állítanak elő oxigént, illetve bizonyos fajtájuk alternatív tüzelőanyag alapanyagot is, amelyet lipidjeikben tárol. Nagy előny termesztésüknél, hogy mezőgazdasági művelésre alkalmatlan területekre telepíthetők (akár épületek belterébe is), és nem szükséges fejlődésükhöz a tiszta víz (tengeri algafajok sós vízben is megélnek), csak az ásványi anyag tartalma megfelelő legyen a közegüknek. A bennük tárolt olaj eltávolításához a biomasszát roncsolják.

A *negyedik generációs bioüzemanyagoknál* ezzel szemben a mikroalgák, illetve a cianobaktériumok katalizátorként vannak jelen a termelési rendszerben (3. ábra). Napsugárzást felhasználva légköri CO₂-ből állítanak elő különféle szén alapú tüzelőanyagokat, mint például fotobiológiai szolár- és elektro-bioüzemanyag [4].



3. ábra Negyedik generációs bioüzemanyag előállítása [5].⁶

⁶ Popular Science honlapja,
https://www.popsci.com/sites/popsci.com/files/styles/655_1x_public/import/2013/images/2010/05/joule-final.jpg?itok=oPnib_Gu

Bioüzemanyagok fajtái

A légi járművek hagyományos tüzelőanyagai a repülőbenzin és a repülőpetróleum vagy más néven kerozin. Ezeknek nemzetközi szabványok rögzítik a kémiai és fizikai paramétereit, melyeknek a bioüzemanyagok is meg kell feleljenek. Alapanyagaiktól, illetve előállítási módjuktól függően több fajtájuk is létezik.

Legismertebb közülük talán a *biodízel*, mely nyersanyagaként növényi olajok, állati és használt sütőzsiradékok szolgálnak. Könnyen lebomló, nem toxikus folyadék, kiváló kenési tulajdonságokkal rendelkezik, viszkozitásának és energiatartalmának értéke közel áll a jelenleg is használt dízel üzemanyagokhoz, így akár önmagában is használható tüzelőanyagként. Tisztább égéséhez hozzájárul, hogy nem tartalmaz aromás vegyületeket, kéntartalma 98%-kal, füstgázának lebegő részecske száma 50%-kal alacsonyabb a gázolajnál. Hátránya, hogy magasabb a dermedési pontja, és tárolás közbeni oxidációra érzékenyebb. [6]

Braziliában ipari hulladékból, egészen pontosan tilápia hal kereskedelmi forgalomba nem kerülő részeiből állítottak elő biodízelt. A létrehozott tüzelőanyag különféle paramétereit megmérve, és összehasonlítva a szabvány által előírt értékekkel, az alábbi eredményeket kapták (1. táblázat):

Tulajdonságok	Halolajból készült biodízel	ANP ⁷ által javasolt határok
fajlagos tömeg 20°C-on [kg/m ³]	877	850-900
kinematikai viszkozitás 40°C-on [mm ² /s]	5,34	3,0-6,0
víz tartalom [mg/kg]	95	500-ig
savtartalom [mg KOH/g]	0,19	max. 0,50
gyulladás pont [°C]	145	min. 100,0
oxidációs stabilitás 110°C-on [H]	8,7	min. 6
alsó fűtőérték [MJ/kg]	35,479	szabvány által nem meghatározott
felső fűtőérték [MJ/kg]	38,531	szabvány által nem meghatározott

1. táblázat A halolaj fizikai, kémiai analízise során kapott eredmények [7].⁸

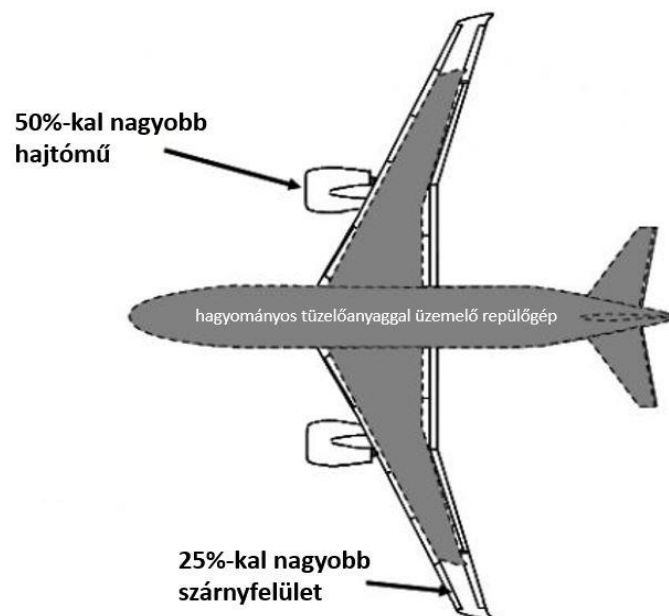
A Boeing vállalat 2014-ben az ecoDemonstrator program keretein belül több fejlesztés mellett bioüzemanyagot is tesztelt egy B-787 Dreamliner-ben. A repülőgépnél először csak az egyik hajtóművét látták el alternatív tüzelőanyag és kerozin keverékének 15-85%-os arányában, majd a további repülések során már mindkettőt egyszerre. [8]

Növényekből kinyert keményítőtől, cellulózból, cukorból erjesztés, katalitikus átalakítás eredményeképp *bioalkoholok* keletkeznek. Elégetésük közben nehézfémek nem, SO_x-ből ötödannyi, CO-ból negyedannyi kerül a levegőbe, mint hagyományos tüzelőanyag

⁷ Nemzeti Kőolaj Ügynökség (National Petroleum Agency – NPA)

⁸ MARTINS, G. I., SECCO, D., ROSA, H. A., BARICCATTI, R. A., DOLCI, B. D., MELEGARI DE SOUZA, S. N., SANTOS, R. F., BENETOLI DA SILVA, T. R., GURGACZ, F.: Physical and chemical properties of fish oil biodiesel produced in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42 (2015), 154-157. o. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114008417> (letöltve: 2016. 08. 16.)

használatakor. Megújuló energiaforrásnak tekinthetőek, hiszen a növények által tárolt széndioxid kerül vissza a légkörbe felhasználásuk során. Legismertebb közülük az etanol. Önmagában kevésbé, inkább hagyományos tüzelőanyagokhoz keverve alkalmazzák a légijárművek hajtóműveiben, mivel gyulladáspontja valamint, energiasűrűsége alacsonyabb (vö. 4.ábra!), és a fém alkatrészeket (pl. alumínium alapanyagúakat) korrodálja. [9]



4. ábra Azonos teljesítményű etanollal és hagyományos üzemanyaggal (szürke színnel) üzemelő repülőgépek befoglaló méreteinek összehasonlítása [10].⁹

A kriogén (cseppfolyósított) gázok között is vannak alternatív tüzelőanyagok. Amennyiben biomasszából nyerik ki azokat, akkor a bioüzemanyagok közé sorolhatóak. Kettő kiemelkedik közülük: a *biohidrogén* és a *biometán*. Égéshőjük 2,7-szerese és 1,5-szerese a kerozinnak, viszont sűrűségük jóval alacsonyabb. Légijárművekben történő alkalmazásukkor előnyt jelent, hogy szennyezőanyag kibocsátásuk alacsony (a vízgőzt leszámítva, amely az üvegházhatást erősíti) - biohidrogén esetében csak nitrogénoxid, a biometán elégetésekor széndioxid is keletkezik. A jelenlegi tüzelőanyag-rendszereket viszont át kell alakítani alkalmazásukhoz, mivel cseppfolyós állapotban csak -253 °C, illetve -160 °C alatti hőmérsékleten tárolhatóak. [11]

A JET A vagy JET A-1 (katonai repülésben JP) besorolású tüzelőanyagok kiváltására fejlesztették ki a *HRJ*¹⁰ vagy más néven *HEFA*¹¹ üzemanyagokat, melyek alapanyagául állati faggyú, növényi olaj, illetve használt sütőzsiradék szolgál. Elégetésük során jóval kevesebb üvegházhatású gáz kerül a légkörbe a hagyományos tüzelőanyagokhoz képest, továbbá nem találhatóak bennük aromás-, kén vegyületek és korom sem. Előnyük közé sorolható, hogy magas energiatartalommal, cetánszámmal rendelkeznek, a hajtóműben korróziót nem okoznak. Hátrányuk, ami miatt önmagukban nem alkalmazhatóak, hogy magas paraffin

⁹ https://usercontent1.hubstatic.com/3391808_f520.jpg (letöltve: 2017. 04. 27.)

¹⁰ hidrogénezett megújuló sugárhajtómű üzemanyagok (Hydroprocessed Renewable Jet Fuel – HRJ)

¹¹ hidrogénezett észterek és zsírsavak (Hydroprocessed Esters and Fatty Acids - HEFA)

tartalmúak, így a dermedési pontjuk miatt nem megfelelőek a repülésben történő felhasználásra. Ezért maximum 50%-ban keverhetőek (ASTM¹² D7566-os számú szabvány, 2011-es adat). A Shell Group és az IPFEN¹³ központ kutatói kísérleteket végeztek JET és HEFA tüzelőanyag különböző arányú keverékeivel. Az eredményeiket a 2. táblázat tartalmazza, melyből kiderül, hogy önmagában a HEFA hajtóanyag nem használható, viszont a hagyományos tüzelőanyaggal együtt alkalmazva javíthatják egymás fizikai, műszaki jellemzőit. [12]

Jellemzők	Sűrűség 15°C-on [kg/m ³]	Dermedési pont [°C]	Viszkozitás -20°C-on [mm ² /s]
Jet A-1 előírás	775-840	-47 max.	8,0 max.
HEFA1	773,5	-27,0	11,72
Jet + 10% HEFA1	800,0	-49,0	4,426
Jet + 20% HEFA1	797,0	-46,5	4,859
Jet + 30% HEFA1	794,0	-44,5	5,363
HEFA2	765,9	-57,5	7,517
Jet + 75% HEFA2	775,0	-56	6,335

2. táblázat Jet A-1, HEFA1 és HEFA2 üzemanyagok illetve keverékeik jellemzői (saját szerkesztés) [12].¹⁴

SZINTETIKUS ÜZEMANYAGOK

A szintetikus tüzelőanyagok előállítása nem új keletű, hiszen már az 1900-as évek elején német tudósok kidolgozták a megfelelő technológiát létrehozásukra, és 1919-ben elkezdődött a gyártásuk. A termelés csúcspontját a II. világháború idején érte el, mikor Németország elvesztette kőolaj és földgáz lelőhelyeinek nagy részét, így az országban található kőszén lett az újfajta üzemanyag alapanyaga. Franz Fischer és Hans Tropsch tökéletesítették a régebbi előállítási módszert, és megszületett a mai napig használatban lévő Fischer-Tropsch szintézis.

¹² Amerikai Anyagvizsgáló Társaság (American Society for Testing and Materials – ASTM)

¹³IFP Energies nouvelles: Az energia, a közlekedés és a környezetvédelem területein kutatásokat végző illetve képzéseket lebonyolító francia központ. <http://www.ifpenergiesnouvelles.com/>

¹⁴ STARCK, L., PIDOL, L., JEULAND, N., CHAPUS, T., BOGERS, P., BAULDREAY, J.: Production of Hydroprocessed Esters and Fatty Acids (HEFA) – Optimisation of Process Yield. Oil & Gas Science and Technology, 71 10 (2016), <https://ogst.ifpenergiesnouvelles.fr/articles/ogst/abs/2016/01/ogst120241/ogst120241.html> (letöltve: 2017. 04. 27.)

Nemcsak Németország, hanem az Egyesült Államok is elkezdte a szintetikus tüzelőanyagok gyártását. A II. világháború után napi 1100 m³ mennyiséget termelt, amely az elkövetkezendő években visszaesett az olcsón beszerezhető kőolaj miatt. Az 1900-as évek utolsó évtizedeiben - az öt sújtó nemzetközi embargó miatt - Dél-Afrika is bekapcsolódott a termelésbe.

Összehasonlításképpen szintetikus tüzelőanyagból 1944-ben napi 19700 m³ mennyiséget termelt Németország, 2009-ben több mint, 38000 m³-t állítottak elő világviszonylatban. [13]

Szintetikus üzemanyagok fajtái

A szintetikus üzemanyagoknak - alapanyaguktól függően - rendszerint három fajtája különböztethető meg: CTL¹⁵, GTL¹⁶, BTL¹⁷.

A *CTL* szén alapú, kénmentes tüzelőanyag elégetésekor kevesebb nitrogén-oxid kerül a légkörbe, azonban figyelembe kell venni, hogy előállítása mennyire terheli a környezetet. Az USA, illetve Kína is nagy kőszén készlettel rendelkezik, így kutatások indultak, hogy a *CTL* gyártását miképpen lehetne a megújuló tartományba helyezni (pl. hibrid cseppfolyósítási eljárások, levegő elválasztási technológiák és a Fischer-Tropsch szintézis fejlesztése útján), hiszen így nem csak alacsonyabb költségű, hanem környezetbarát termelésű és alkalmazású tüzelőanyag lenne a végeredmény. Az Amerikai Egyesült Államok hadseregének jelenleg is folyó programjának keretein belül vizsgálják a *CTL* alkalmazhatóságát tüzelőanyagként, és előirányzatként szerepel, hogy az Amerikai Légierő légi járművei 2025-re 70%-ban ezt az üzemanyagot használják repüléseik során.

A *GTL* szintelen, szagtalan tüzelőanyag, melynek alapanyagai közé tartozik a földgáz továbbá az egyéb gáz halmazállapotú szénhidrogének. A földgáz a legtisztább égésű fosszilis eredetű tüzelőanyag, ugyanis nem tartalmaz kén, nitrogént, aromás vegyületeket, mint a kőolajból előállított üzemanyagok. A *GTL* gyártása során először a nyersanyagból szintézis gázt hoznak létre, majd többféle eljárást alkalmazva folyékony szénhidrogén, a folyamat végén pedig megfelelő minőségű tüzelőanyag keletkezik. [15]

A *BTL* tüzelőanyagoknak - csak úgy, mint a bioüzemanyagoknak - biomassza a nyersanyaga, amelyet több lépésben termokémiai úton hoznak létre ipari, kommunális hulladékból, illetve magas keményítő- és cellulóz tartalmú növényekből. A British Airways a Velocys vállalattal egy *BTL*-t gyártó üzem felállítását tervezi, mely több százezer tonna háztartási hulladékból állít elő tüzelőanyagot a légitársaság repülőgépei számára, így teljesíthető lenne 2050-re az a kötelezettségvállalás, hogy a légi járművek felére redukálnák repüléseik során a szén-dioxid kibocsátást. [16]

¹⁵ szénből folyékony üzemanyag (Coal to Liquid Fuel – CTL)

¹⁶ gázból folyékony üzemanyag (Gas to Liquid Fuel – GTL)

¹⁷ biomasszából folyékony üzemanyag (Biomass to Liquid Fuel – BTL)



5. ábra Szintetikus és hagyományos dízel üzemanyag [14].¹⁸

SZINTETIKUS ÉS BIOÜZEMANYAGOK ELŐÁLLÍTÁSA

A szintetikus és a bioüzemanyagok többféle - közvetlen vagy közvetett - módon állíthatóak elő. Az alábbiakban vázlatosan a legelterjedtebb gyártási technológiák jellemzői tekinthetők át.

A pirolízisnek¹⁹ három fő fajtája létezik, melyek az eljárások hőmérsékletében, hevítési időben, illetve a végtermékek halmazállapotának százalékos arányában térnek el:

- lassú karbonizáció: alacsony hőmérsékleten (400 °C alatt) hosszú ideig történő hevítés, végtermékként faszén, gáz és kátrány keletkezik;
- gyors pirolízis: 400-600 °C között megy végbe a folyamat, szilárd (bioszén), de főként folyékony (bioolaj) halmazállapotú végtermék jön létre, az előzőhöz képest modernebb technológia;
- elgázosítás: a reakció 800-1000 °C között játszódik le, nagyrészt pirolízis gáz keletkezik. [17]

A hidrogénezés két lépcsős kémiai folyamat, mely során először hidrogénező katalizátor segítségével finomítják a nyersanyagot, majd a kapott közbűsű terméknek megbontják a szerkezetét, úgy hogy a rendszerbe hidrogént juttatva eltávolítják az oxigént. [18]

Akár a pirolízist, akár a hidrogénezést tekintjük, mindkét tüzelőanyag előállítási módszer esetén nitrogén és szulfidmentes végtermék jön létre, mely elégetésével, jóval kevesebb károsanyag kerül a környezetbe, mint hagyományos üzemanyag alkalmazása révén. A fenti kémiai folyamatok bár jól használhatók, mégsem terjedtek el. [19]

¹⁸ Wikipedia,

https://en.wikipedia.org/wiki/Synthetic_fuel#/media/File:NREL_FT_diesel_vs_conventional_diesel_photo.jpg

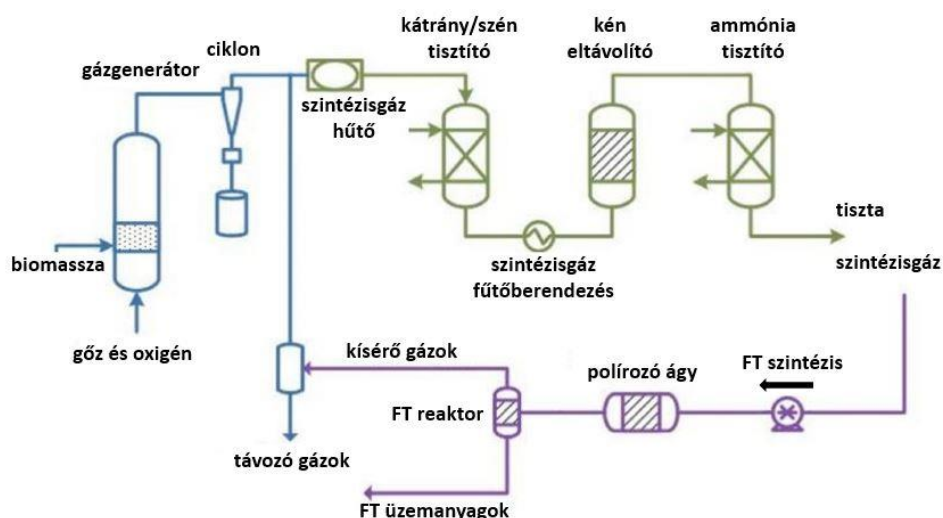
¹⁹ pirolízis: a szerves anyagú hulladék hőbontása megfelelően kialakított reaktorban, hő hatására, oxigénszegény vagy oxigénmentes közegben szabályozott körülmények között bekövetkező kémiai lebontása. A hőbontás során a szerves hulladékból különböző termékek keletkeznek:

- pirolízis gáz;
- folyékony termék (olaj, kátrány, szerves savakat tartalmazó bomlási víz);
- szilárd végtermék keletkezik. (pirolízis kocsz).

Ezek összetétele, aránya és mennyisége a kezelt hulladék összetételétől, a reaktor üzemi viszonyaitól és szerkezeti megoldásától függ. [26]

A Fischer-Tropsch szintézis (6. ábra) a közvetett üzemanyag előállítási módok közé tartozik. E kémiai eljárás során 150-300 °C közötti hőmérsékleten elgázosítják az alapanyagot katalizátorok segítségével, melyek elsődlegesen vas vagy nikkel alapúak lehetnek. A folyamat végén olyan szénhidrogén tüzelőanyag keletkezik, amely egyaránt mentes kén és aromás vegyületektől, és égése is tisztább a hagyományos üzemanyagoknál. [6]

Biokémiai eljárások során alkoholt állítanak elő szénhidrátokból. E a módszerekhez tartozik a DSHC²⁰ és az ATJ²¹. Az előbbinek alapanyaga a cukor, melyet vagy közvetlenül nyernek ki a növényekből, vagy a biomasszát hidrolízis folyamatának vetik alá. Ezután enzimet adagolnak a nyersanyaghoz, mely megerjeszti, majd a kapott vegyület tisztításon megy keresztül, végül pedig hidrogénezik. ATJ eljárás esetében főként hulladékok kerülnek feldolgozásra, melyekből vagy szintézisgázt hoznak létre, vagy a biomasszát hidrolízisnek, fermentációnak és desztillációnak vetik alá. [6]



6. ábra Fischer-Tropsch eljárás [20].²²

A világon több cég is foglalkozik repülésben alkalmazható szintetikus- és bioüzemanyagok előállításával. Az alábbiakban néhány vállalat kerül bemutatásra a teljes igénye nélkül.

A dél-afrikai székhelyű Sasol vállalat az első olyan cég a világon, amely nemzetközi jóváhagyást kapott 2008-ban az általa előállított szintetikus tüzelőanyag (CTL) önmagában (nem keverve hagyományos üzemanyaggal) történő alkalmazására a kereskedelmi repülés terén. Az engedély kiadásához csatlakozott a UK MoD²³, az ASTM²⁴ és a IATA²⁵ is. A szintetikus sugárhajtómű-tüzelőanyag egyik lényeges előnye, hogy hagyományos tüzelőanyag rendszerben is felhasználható. További kutatások eredményeként a cég biomassza alapú szintetikus tüzelőanyag is létre kíván hozni. [21]

²⁰ cukorból szénhidrát készítése direkt módon (Direct Sugar to Hydrocarbon – DSHC)

²¹ alkohorból sugárhajtómű tüzelőanyag (Alcohol to Jet – ATJ)

²² <https://www.cset.iastate.edu/files/2011/06/Screen-Shot-2011-10-21-at-2.08.20-PM-1024x544.png> (letöltve: 2017. 05. 02.).

²³ Egyesült Királyság Védelmi Minisztériuma (United Kingdom Ministry of Defence – UK MoD)

²⁴ Amerikai Anyagvizsgálati Társaság (American Society for Testing and Materials – ASTM)

²⁵ Nemzetközi Légitfuvarozási Szövetség (International Air Transport Association – IATA)

A Shell vállalat is fejlesztéseket folytat a szintetikus tüzelőanyagok terén. Létrehoztak egy GTL Jet Fuel nevű, földgázból előállított üzemanyagot, amelyet hagyományos kerozinnal akár 50 %-ban keverve jön létre. Ez égése során közel nulla kén-dioxidot és csekély mennyiségű lebegő részecskét bocsát a levegőbe. 2009-ben a Qatar Airways menetrendszerinti Doha-London járatán Airbus A340-600 repülőgépben első ízben alkalmazták a GTL Jet Fuelt 50 %-ban Jet A1-gyel keverve, amelyet 2012-től már ipari mennyiségben állít elő a Shell. [15] [22]

A Kaliforniában működő, 2003-ban alapított Solazyme vállalat bioüzemanyagokat és az ipari kenőanyagokat fejleszt mikroalgák által megtermelt olajra alapozva. Céljuk, hogy az általuk előállított üzemanyag nemcsak környezetbarát, hanem megújuló is legyen. Négy féle üzemanyagot állítanak elő, melyek felhasználhatóak autókba (Soladiesel_{BD} és a Soladiesel_{RD}), légijárművekbe (Solajet), illetve tengeri járművekbe (Amerikai Hadsereg számára HRD-76 és HRJ-5) is. A Solajet megfelel az ASTM D 1655 szabványnak, kiváltható vele a hagyományos tüzelőanyag, továbbá alacsonyabb a károsanyag kibocsátás, valamint alkalmazása esetén, hosszabb ideig tárolható, használatával csökkenek a tárolási, fenntartási költségek. [23]

A kaliforniai székhelyű Byogy Renewables vállalat olyan bioüzemanyagok előállításával foglalkozik, melyekkel a jelenleg használatban lévő kőolaj alapú hajtóanyagok kiválthatóak. Céljuk, hogy bioetanolból a legmagasabb minőségű sugárhajtómű tüzelőanyagot hozzák létre, kiszolgálva vele a kereskedelmi és katonai légijárműveket, a fenntartható fejlődés követelményinek megfelelően. Kukoricát, cukornádat és cellulóz tartalmú növényeket használnak cukor előállításához, amelyből több fázisban bioetanolt készítenek. [24]



7. ábra Embraer vállalat által gyártott Ipanema EMB 202A típusú etanollal működő repülőgép [25].²⁶

Az alternatív üzemanyagok a katonai - de perspektivikusan a nagytávolságú polgári repülésben is - csak akkor nyernek teljes létjogosultságot, ha biztosítottá válik használatos változatok rendszerszintű légi utántölthetősége. [28]

²⁶ <http://www.embraer.com/nva/img/airplanes/agricultural/ipanema.jpg> (letöltve: 2017. 04. 27.)

ÖSSZEFOGLALÁS

2007-ben az Amerikai Légierő B-52-es repülőgépe kerozin és GTL 50-50%-os keverékével emelkedett a levegőbe. 2008-ban egy Airbus A380-as három órás tesztrepülés során olyan tüzelőanyagot használt, mely 40%-ban tartalmazott GTL-t. Látható a cikkben bemutatott példákon keresztül, hogy nem csak a civil, hanem a katonai célú légi járművek üzemeltetésénél is egyre nagyobb szerepet töltenek be a szintetikus- és a bioüzemanyagok egyaránt. Egyfelől, azért hogy függetlenítsék légi jármű flottájukat a fosszilis eredetű tüzelőanyagoktól, külföldi importtól, így költséget tudnak csökkenteni, másfelől jóval kevesebb károsanyag kerül a levegőbe a hagyományos üzemanyagok elégetéséhez képest, így eleget tudnak tenni a légi közlekedésben is erősödő a környezetvédelmi előírásoknak.

Nagyobb légitársaságok, mint a British Airways, a Qatar Airways, a United Airlines is törekednek arra, hogy csökkentsék az üvegházhatású gázok kibocsátását, továbbá olyan vállalatokkal (Velocys, Shell, Fulcrum BioEnergy) kötnek együttműködési szerződéseket, és folytatnak kísérleteket, melyek alternatív tüzelőanyagokat képesek előállítani, melyek segítségével üzemeltetni tudják légi járataikat.

A kutatásoknak és fejlesztéseknek köszönhetően egyre nagyobb energiasűrűségű, a jelenlegi tüzelőanyagrendszerekben is jól alkalmazható (akár kisebb-nagyobb átalakításokkal), megújuló energiaforrások segítségével, környezetbarát szintetikus- és bioüzemanyagok jönnek létre. Mivel jelenleg a gyártás alatt lévő, illetve a nemrég előállított légi járművek üzemideje majd csak évtizedek múlva fog lejárni, ezért egyelőre az alternatív tüzelőanyagokat kell hajtóműveik kiszolgálásához igazítani, vagyis olyan üzemanyagokat kell létrehozni, melyek önmagukban vagy keverve képesek kiváltani a hagyományos fosszilis eredetű tüzelőanyagokat.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] HVG: Rekordon a légköri szén-dioxid. HVG online hetilap, (2017. november 8.) http://hvg.hu/hetilap/2017.45/201745_bonni_klimakonferencia_rekordon_alegkori_szen_dioxid (letöltve: 2017. 11. 15.)
- [2] Bundesverband der Deutschen Luftverkehrswirtschaft honlap, https://www.bdl.aero/download/1350/bdl_ee2014_eng_s6_2.png (letöltve: 2017. 09. 28.)
- [3] Rheinland Energie honlapja, http://www.rheinland-energie.de/fileadmin/_processed_/csm_shell-gtl-comparison_8e7a2389ce.jpg (letöltve: 2017. 02. 08.)
- [4] ARO, EM.: From first generation biofuels to advanced solar biofuels; *Ambio*, 45 1 (2016), 24-31. o. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4678123/> (letöltve: 2017. 02. 20.)
- [5] Popular Science honlapja, https://www.popsci.com/sites/popsci.com/files/styles/655_1x_/public/import/2013/images/2010/05/joule-final.jpg?itok=oPnib_Gu (letöltve: 2017. 10. 09.)

- [6] KANDARAMATH HARI, T., YAAKOB, Z., BINITHA, N. N.: Aviation Biofuel from renewable resources: Routes, opportunities and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42 (2015), 1234-1244. o.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114009204> (letöltve: 2017. 02. 13.)
- [7] MARTINS, G. I., SECCO, D., ROSA, H. A., BARICCATTI, R. A., DOLCI, B. D., MELEGARI DE SOUZA, S. N., SANTOS, R. F., BENETOLI DA SILVA, T. R., GURGACZ, F.: Physical and chemical properties of fish oil biodiesel produced in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42 (2015), 154-157. o.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114008417> (letöltve: 2016. 08. 16.)
- [8] Test flight is first is to use „green diesel” as aviation biofuel. Boeing vállalat honlapja, (December 3, 2014), <http://www.boeing.com/company/about-bca/washington/test-flight-is-first-to-use-green-diesel-as-aviation-biofuel-12-3-2014.page> (letöltve: 2017. 04. 28.)
- [9] SHAH, Y. R., SEN, D. J.: Bioalcohol as green energy – A review. *International Journal of Current Scientific Research*, 1 2 (2011), 57-62. o.
http://cogprints.org/7310/1/Bioalcohol_As_Green_Energy_-_A_review.pdf (letöltve: 2017. 04. 04.)
- [10] https://usercontent1.hubstatic.com/3391808_f520.jpg (letöltve: 2017. 04. 27.)
- [11] SZEGEDI P., ÓVÁRI GY.: Alternatív üzemanyagok alkalmazásának lehetőségei a repülésben. *Repüléstudományi közlemények 2010/2* (online) 29 p.
http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2010_cikkek/Ovari_Gyula-Szegedi_Peter.pdf (letöltve: 2016. 09. 09.)
- [12] STARCK, L., PIDOL, L., JEULAND, N., CHAPUS, T., BOGERS, P., BAULDREAY, J.: Production of Hydroprocessed Esters and Fatty Acids (HEFA) – Optimisation of Process Yield. *Oil & Gas Science and Technology*, 71 10 (2016), <https://ogst.ifpenergiesnouvelles.fr/articles/ogst/abs/2016/01/ogst120241/ogst120241.html> (letöltve: 2017. 04. 27.)
- [13] WIKIPEDIA: Synthetic Fuel. https://en.wikipedia.org/wiki/Synthetic_fuel (letöltve: 2017. 11. 15.)
- [14] https://en.wikipedia.org/wiki/Synthetic_fuel#/media/File:NREL_FT_diesel_vs_conventional_diesel_photo.jpg (letöltve: 2017. 11. 20.)
- [15] Gas-To-Liquids. Shell vállalat honlapja, <http://www.shell.com/energy-and-innovation/natural-gas/gas-to-liquids.html> (letöltve: 2017. 11. 22.)
- [16] British airways powers its future by turning household rubbish into jet fuel. British Airways vállalat honlapja, (September 18, 2017)
http://mediacentre.britishairways.com/pressrelease/details/86/2017_228/8806 (letöltve: 2017. 11. 22.)
- [17] Bioszén gyártási technológiák. Körinfo honlapja,
<http://enfo.agt.bme.hu/drupal/sites/default/files/Biosz%C3%A9n%20gy%C3%A1rt%C3%A1si%20technol%C3%B3gi%C3%A1k.pdf> (letöltve: 2017.11. 20.)
- [18] STARCK, L., PIDOL, L., JEULAND, N., CHAPUS, T., BOGERS, P., BAULDREAY, J.: Production of Hydroprocessed Esters and Fatty Acids (HEFA) – Optimisation of Process Yield. *Oil & Gas Science and Technology*, 71 10 (2016),

- <https://ogst.ifpenergiesnouvelles.fr/articles/ogst/abs/2016/01/ogst120241/ogst120241.html> (letöltve: 2017. 04. 27.)
- [19] A szintetikus üzemanyagok. Hadtechnikai Kerekasztal online folyóirat, (2010. január 7.) <https://htka.hu/2010/01/07/a-szintetikus-uzemanyagok/> (letöltve: 2017. 10. 21.)
- [20] <https://www.cset.iastate.edu/files/2011/06/Screen-Shot-2011-10-21-at-2.08.20-PM-1024x544.png> (letöltve: 2017. 05. 02.)
- [21] Sasol achieves approval for 100% synthetic jet fuel. Sasol vállalat honlapja, (09 April 2008.) <http://www.sasol.com/media-centre/media-releases/sasol-achieves-approval-100-synthetic-jet-fuel> (letöltve: 2017. 11. 20.)
- [22] Qatar Airways undertakes first commercial passenger flight powered by a natural gas blended jet fuel. Greenair online.com, (13 Oct 2009) <http://www.greenaironline.com/news.php?viewStory=624> (letöltve: 2017. 11. 20.)
- [23] Solazyme vállalat honlapja <http://solazymeindustrials.com/>
- [24] Byogy Renewables vállalat honlapja <http://www.byogy.com/>
- [25] <http://www.embraer.com/nva/img/airplanes/agricultural/ipanema.jpg> (letöltve: 2017. 04. 27.)
- [26] FEHÉR K., ÓVÁRI GY.: Alternatív tüzelőanyagok alkalmazásának realitásai a repülésben, a XXI. század első felében. Repüléstudományi szemelvények 2017. 113-157. o. <http://www.repulestudomany.hu/kiadvanyok/RepSzem-2017.pdf>, ISBN 978-615-5764-80-6
- [27] VARGA B., ÓVÁRI GY., KAVAS L.: Gas turbine engine combustors and the estimation of their pressure loss. Scientific Research and Education in the Air Force I., 337-344. o. (2017) AFASES 2017. Brasov, Románia: 2017.05.25 -2017.05.27.
- [28] KAVAS L., ÓVÁRI GY., VARGA B.: Repülőeszközök tüzelőanyaggal történő légiutántöltésének módszerei, hagyományos és új alkalmazási lehetőségei. Repüléstudományi szemelvények 2016., 81-114. o. <http://www.repulestudomany.hu/kiadvanyok/RepSzem-2016.pdf> ISBN 978-615-5057-70-0 (letöltve: 2017. 05. 15.)

A cikk a GINOP 2.3.2-15-2016-00007 „A légiközlekedés-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.

