

A REPÜLÉSBEN HASZNÁLHATÓ KORSZERŰ BIOÜZEMANYAGOK

APPLICATION OF MODERN BIOFUELS IN AVIATION

FEHÉR Krisztina

ORCID: 0000-0002-5057-733X

rozovicsne.feher.krisztina@uni-nke.hu

Absztrakt

A közlekedési ágazat fejlődésével együtt a repülés, mint légitársasági terület szintén egy intenzív növekedési pályán mozog. Ez jelenti mind a repült órák számának emelkedését (évente 4-5%-kal), mind a géppark nagyságának gyarapodását. Mindezek maguk után vonják a légitársaságok által kibocsátott üvegházhatású gázok illetve egyéb szennyezőanyagok mennyiségi erősödését a légkörben.

A cikkben bemutatom a légitársaságok számára a bioüzemanyagok fajtáit (első, második, harmadik, negyedik generációs), feltüntetek néhány a repülés számára fontos tüzelőanyag jellemzőit illetve előállításuk módjait.

A fellelt szakirodalmak szerint ezen tüzelőanyagok elégetésével kevesebb szennyezőanyag kerül a légkörbe, mint a hagyományos üzemanyagok esetén. Önmagukban vagy keverékként is felhasználhatóak a jelenleg is üzemelő légitársaságok tüzelőanyag-rendszerében.

Kulcsszavak: légitársaság, bioüzemanyag, biodízel, HRJ, DSHC

Abstract

With the development of transport sector, the air transport has also been on an intensive growth path. That means both the rise of flying time and (4-5% per year) and the increase of the total number of world's aircraft fleet. Of course, that causes ever increasing amount of air transport emitted greenhouse gases and other contaminants in the atmosphere.

In this paper I would like to present the types of biofuels, developed for aviation use (first, second, third, fourth generation fuels) their most important aviation specific properties and production methods.

By the available scientific literature with the burning of these fuels less harmful contaminants are emitted into the atmosphere compared to traditional fuels. They can be used on their own without mixing or mixed with other fuels in the fuel system of today used air transport vehicles

Keywords: aircraft, biofuel, biodiesel, HRJ, DSHC

A kézirat benyújtásának dátuma (Date of the submission): 2017.05.08.

A kézirat elfogadásának dátuma (Date of the acceptance): 2017.06.15.

BEVEZETÉS

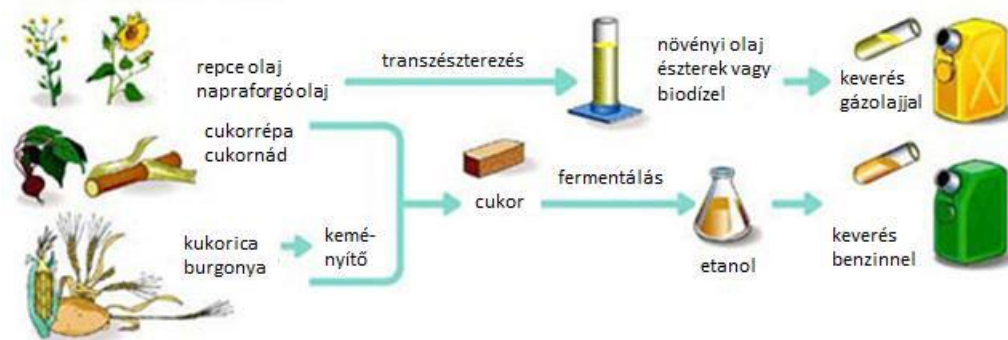
A társadalom energia szükségleteinek kielégítését jelenleg nagymértékben a fosszilis tüzelőanyagok biztosítják, melyek mellett egy ideje már megjelentek az alternatív, megújuló energiaforrások is, hiszen a kőolaj ára fokozatosan emelkedik a kitermelhető mennyiség csökkenése illetve az egyre bonyolultabb felszínre hozatali módszerek miatt. Továbbá az üvegházhatású gázok szintjének emelkedése a légkörben, melyből a növekvő légközhőmérséklet is egyre nagyobb részt hasít ki magának, és ezzel együtt a Föld átlaghőmérsékletének növekedése is arra sarkall, hogy kiváltsuk hagyományos üzemanyagainkat környezetkímélőbb megoldásokkal. Több irányban, széles körben indultak kutatások a kevesebb üzemanyagot fogyasztó hajtóművektől kezdve a napenergia hasznosításáig, amelyeknek, még ha a kezdeti eredményeik nem is túlbiztatóak, de jó alapot biztosítanak a további műszaki kihívások leküzdésére. Az egyik ilyen alternatív megoldás a bioüzemanyag lehet.

BIOÜZEMANYAGOK GENERÁCIÓI

A bioüzemanyagok állati vagy növényi biomasszából keletkeznek akár csak a fosszilis eredetű energiahordozók, de azokkal ellentétben nem kell több százezer évig várni létrejöttükre. Eredetüket tekintve közvetlenül a mezőgazdaság állítja elő őket, kereskedelmi, ipari illetve háztartási hulladékok anaerob lebontási folyamatainak a végtermékeként vagy szén-dioxid megkötési eljárás eredményeképpen keletkeznek. A bioüzemanyagokat négy csoportba lehet sorolni alapanyagaik illetve termőterület szempontjából: első, második, harmadik illetve negyedik generációs.

Első generációs bioüzemanyagok

Az első generációs vagy más néven hagyományos bioüzemanyagok keményítőtől, cukorból, növényi olajból készülnek. Ezek alapjai olyan növények, melyek élelmezésre is megfelelőek lennének, mint például a kukorica, a burgonya vagy a napraforgó. Üzemanyag alapanyagként történő felhasználásuk megemelte irántuk a keresletet és ezzel együtt a világpiaci árakat illetve a termőföldek nagyságát is, ahol e fajokat termesztik. Bár üzemanyagként használatuk környezetbarát üzemeltetést tesz lehetővé, természetükhöz, betakarításukhoz, szállításukhoz még mindig fosszilis energiahordozókat használnak. Két fajtája létezik attól függően, hogy mi a kiindulási vegyület és azon milyen eljárást alkalmazva hozzák létre belőle az alternatív üzemanyagot (1. ábra).



1. ábra Első generációs bioüzemanyagok előállítása [1]

Etanol akkor jön létre, ha a cukrot, amely keményítőtől keletkezik, fermentálják. Részletesebben: a betakarított, majd felaprított növényekhez enzimet adagolva erjedés indul, majd ehhez a masszához élesztőt adagolva a cukorból alkohol keletkezik, amelyet desztilláció segítségével nyernek ki. Lehetséges tisztán, önmagában is felhasználni gépjárművekben (a

tüzelőanyag rendszer megfelelő átalakítása vagy kialakítása mellett), de e helyett inkább a benzinnel történő keverést részesítik előnyben. Megújuló energiaként az etanol előnye, hogy növeli a motor teljesítményét, használatával nő az oktánszám, és elégetése révén kevesebb mennyiségű szennyezőanyag kerül a környezetbe. Hátránya a benzinhoz képest, hogy előállítási költsége még mindig magasabb.

A másik fajta az első generációs bioüzemanyagoknak a biodízel, amely növényi olajból, állati zsiradékból vagy használt sütőzsiradékból is keletkezhet. Az olajos magvú növények magjait, mint például a napraforgóét, a repcéét, de ide sorolható a kókusz is, préselésnek vetik alá. A kapott olajból transzészterezés (növényi olajból glicerint eltávolítása) után olyan alternatív üzemanyag jön létre, amely keverve vagy közvetlenül adagolható dízelmotorokba. Az elégetett biodízel szennyezőanyag tartalma kevesebb a hagyományos gázolajhoz képest, illetve biológiailag lebomló anyagról beszélünk. [1]

Második generációs bioüzemanyagok

A második generációs bioüzemanyagok alapanyagai emberi fogyasztásra illetve állati takarmányozásra alkalmatlanok, de még mindig nem lehet függetleníteni termesztésüket a szántóföldektől. Előnye az első generációhoz képest, hogy adott területen magasabb energia mennyiséget lehet kinyerni belőlük és gyengébb minőségű termőfölddel is beérik, viszont a tápanyagokat ugyanúgy felhasználják a földből, mint az ételmezésre szánt növények. Alapanyagként különböző organikus és élelmiszer maradványokat illetve gyorsan növekvő fajtákat használnak. A bioüzemanyag készítése, amelyet a 2. ábra mutat be, a növényi részek előkezelésével kezdődik, mely folyamat alatt a sejtfal szilárdságát növelő lignint feloldják. Következő lépésként, ha etanolt hoznak létre, biokémiai úton a rostok közül cukrot nyernek ki, majd a továbbiakban megegyeznek a metódus lépései az első generációs bioüzemanyagoknál alkalmazott etanol előállítással. Viszont szénhidrogéngyártásnál termokémiai módszerrel elgázosítják a maradványokat, majd ebből az úgynevezett szintézisgázból, amely tartalmazza a fent említett vegyületen kívül hidrogént és szén-monoxidot is, üzemanyagot állítanak elő, melyet gázolajhoz keverve használnak a tüzelőanyag rendszerben. [1]



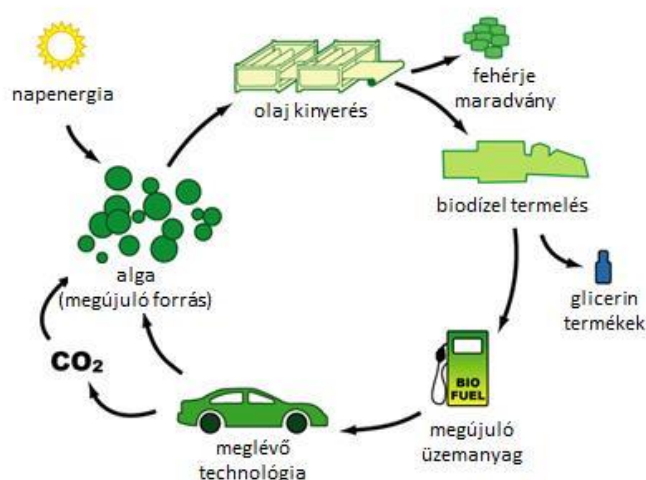
2. ábra Második generációs bioüzemanyagok előállítása [1]

Az első és második generációs bioüzemanyagokkal kapcsolatban etikai kérdések merülnek fel:

- szabad-e ételmezésre szánt növényekből üzemanyagot előállítani, úgy hogy a Földön még mindig éheznek emberek,
- beáldozhatóak-e erre a célra termőhelyek, illetve
- más fajok élőhelyei felhasználhatóak-e erre a célra úgy, hogy közben fennmaradásuk veszélyben van?

Harmadik generációs bioüzemanyagok

A harmadik generációs bioüzemanyag előállításával kapcsolatban a fenti kérdésekre mind nemleges a válasz. Ebbe a kategóriába tartoznak a génmódosított növények, például az algák. Felépítésükbe azért avatkoznak be a tudósok, hogy nagyobb mennyiségű energiát tudjanak belőlük kinyerni vagy ellenállóbb legyen szervezetük élősködőkkel szemben. Előnyük a másik két fajta generációs bioüzemanyag alapanyagokkal szemben, hogy ugyanakkora területen termelve őket nagyobb mennyiségű energia nyerhető ki, mely teljesen megújulónak számít, továbbá általánosságban elmondható, hogy alacsonyabb költségvonzata van termesztésüknek. Az algák olajat termelnek, melyből biodízel állítható elő, ahogy a 3. ábra is mutatja. Olyan talajokra telepíthetőek medencék, tartályok, melyben a fenti mikroorganizmusok növekedni tudnak, melyek nem tekinthetők termőföldnek. Az algafarmok működése nem igényel tiszta vizet, megfelelő számukra a tenger-, de akár a szennyvíz is. [1]



3. ábra Harmadik generációs bioüzemanyag előállítása [1]

Negyedik generációs bioüzemanyagok

A negyedik generációs bioüzemanyag (fotobiológiai vagy elektroüzemanyag) elsődleges létrehozói olyan mikroorganizmusok (cianobaktériumok illetve mikroalgák), melyek a Nap energiájával és a környezet biztosította további olcsó, széles körben elérhető erőforrások felhasználásával állítanak elő alapanyagot alternatív üzemanyagokhoz. A harmadik generációtól eltérően ennél a csoportnál a biomasszát nem közvetlenül termelésre használják, hanem csak katalizátorként van jelen a termelésben.

A negyedik generációs bioüzemanyagokat három féleképpen lehet előállítani:

- fotoszintetizáló mikroorganizmusokkal (fotobiológiai szolár üzemanyag),
- fotovoltaiikus és mikrobiológiai elven működő hibrid rendszer (elektroüzemanyag),
- szintetikus úgynevezett sejtgyárak vagy telepek (magas értékű vegyi anyagok és bioüzemanyag). [2]

A negyedik generációs bioüzemanyagok a szintetikus biológiával együtt fejlődnek, szoros kölcsönhatásban állnak, egymás szakterületeiből felhasználják a fejlesztéseket, legyenek azok termelésre szánt eszközök, berendezések vagy különféle módszerek, melyekkel hatékonyabban és nagyobb mennyiségben állítható elő bioüzemanyag. Nyersanyagként a légkör szén-dioxidját hasznosítják, és természetes vagy mesterséges fotoszintézis útján szén alapú tüzelőanyagot termelnek. [2]

Az Európai Unió egyfelől támogatja a bioüzemanyagok terén végzett kutatásokat illetve bevezetésüket a légi járművek üzemeltetésébe, ugyanakkor aggodalmát fejezte ki, hogy ilyen mértékű biomassza felhasználás mellett mennyi ideig lesz elég a nyersanyag, és mikorra tud megújulni [2]. Ezért is fontos, hogy olyan alapanyagok kerüljenek felhasználásra, melyek korlátlanul rendelkezésre állnak vagy rövid időn belül meg tudnak újulni, például a különböző mikroorganizmusok.

LÉGIKÖZLEKEDÉSBEN HASZNÁLT BIOÜZEMANYAGOK

Az alternatív üzemanyagokkal szemben, ezeken belül természetesen a bioüzemanyagokkal is, követelményeket állítunk fel, melyeknek eleget kell tenniük. Elvárás felénk, hogy üzemeltetési, környezetvédelmi, gazdasági szempontoknak illetve szabványokban rögzített paramétereknek is megfeleljenek, és ezek alapján teljesen vagy részben kiváltható legyen a repülésben jelenleg használt repülőbenzin illetve repülőpetróleum (kerozin).

Egyik fontos szempont, hogy elégetésük során jóval kevesebb szennyezőanyag, üvegházhatást erősítő gáz (pl. szén-dioxid, nitrogén-oxidok, korom, stb.) kerüljön a légkörbe, mint a hagyományos üzemanyagok felhasználásával. A Nemzetközi Légi Szállítási Szövetség (International Air Transport Association - IATA) önkéntes alapon elfogadható üzemanyag felhasználási ajánlást jelentett meg, mely több javaslat mellett tartalmazza, hogy a légi közlekedés által kibocsátott CO₂ mennyiségét a felére kell csökkenteni 2050-ig a 2005-ös adatokat figyelembe véve, akár a szén semleges technológiák felhasználásának segítségével. Üzemeltetés terén elengedhetetlen, hogy magas fűtőértékű, lobbanáspontjuk legyen, ugyanakkor alacsony hőmérsékleten is megfelelően tudjanak velük üzemelni a hajtóművek. Szélsőséges körülmények között is stabilak maradjanak, a jelenleg használt légi járművek tüzelőanyag-rendszerébe, akár kisebb átalakításokkal is tölthetőek legyenek, magával a berendezésekkel illetve elemeikkel reakcióba ne lépjenek. Továbbá hosszú időre rendelkezésre álljanak az előállításukhoz szükséges alapanyagok, gyártásuk környezetbarát és kevés energiát (ha lehet megújulót) felhasználó legyen. [3]

Az alábbi alfejezetekben néhány bioüzemanyag kerül bemutatásra, amelyek a repülésben használhatóak.

Hidrogénezett megújuló sugárhajtómű üzemanyag

A gázturbinás hajtóművekkel ellátott repülőgépek üzemanyaga a kerozin, amely a kőolajszármazékok közé sorolható szénhidrogén. A civil repülésben JET A vagy JET A-1 jelzéssel van jelen, míg a katonai szervezetek a JP jelű besorolást használják a légi járművekhez. Ezen tüzelőanyagok egyik kiváltási lehetősége a HRJ.

A hidrogénezett megújuló sugárhajtómű üzemanyagokat (Hydroprocessed Renewable Jet Fuel – HRJ) vagy más néven hidrogénezett észtereket és zsírsavakat (Hydroprocessed Esters and Fatty Acids - HEFA) használt sütőzsiradékból, növényi olajból és állati faggyúból állítják elő, miközben melléktermékként víz és propángáz keletkezik. Kémiai képletük: C_nH_{2n+2}, melyből adódik, hogy felhasználásuk során ugyan keletkeznek üvegházhatású gázok, de tisztaságuk miatt szennyező komponensek kisebb mennyiségben kerülnek a légkörbe a hagyományos üzemanyagokhoz képest és mentesek hamutól, aromás és kén vegyületektől. Továbbá meg kell említeni, hogy magas cetánszámmal, energiatartalommal rendelkeznek (ilyen szempontból akár önmagukban is felhasználhatók keverés nélkül) mindemellett termikusan stabil folyadékok. Hajtóműben nem okoznak korróziót, viszont magasabb paraffin értékük rontja a dermedési pontjukat, amely érték nagyban függ attól, hogy milyen alapanyagból készítik ezt a fajta bioüzemanyagot. Előnyeik közé sorolható, hogy nagyobb hajtómű átalakítások mellett is használhatóak. [4]

Az Amerikai Anyagvizsgálati Társaság (American Society for Testing and Materials – ASTM) D7566-os számú szabványa szerint a hagyományos üzemanyagok legfeljebb 50%-ban keverhetők HRJ-vel (2011-es adat). Az IFPEN¹ központ illetve a Shell Group kutatói két, különböző tulajdonságokkal rendelkező HEFA-t állítottak elő, melyet Jet A-1 jelzésű üzemanyaggal kevertek össze eltérő arányokban. Kísérleteiket táblázatban foglalták össze (1. táblázat). Míg a HEFA1 jelű hajtóanyag dermedési pontja -27 °C, addig a HEFA2 jelűé alacsonyabb, -57,5 °C, viszkozitása pedig -20 °C-on, 11,72 mm²/s, magasabb az utóbbi folyadékhoz képest, mely értéke 7,52 mm²/s. [5]

Jellemzők	Sűrűség 15°C-on [kg/m ³]	Dermedési pont [°C]	Viszkozitás -20°C-on [mm ² /s]	Gyulladásponthatár [min]
Jet A-1 előírás	775-840	-47 max.	8,0 max.	38
HEFA1	773,5	-27,0	11,72	67
Jet + 10% HEFA1	800,0	-49,0	4,426	43
Jet + 20% HEFA1	797,0	-46,5	4,859	43,5
Jet + 30% HEFA1	794,0	-44,5	5,363	45
HEFA2	765,9	-57,5	7,517	68
Jet + 75% HEFA2	775,0	-56	6,335	58

1. táblázat Jet A-1, HEFA1 és HEFA2 üzemanyagok illetve keverékeik jellemzői (saját szerkesztés) [5]

A táblázatból jól látható, hogy önmagában nem használható sem a HEFA1, sem a HEFA2 jelű bioüzemanyag, hiszen nem minden paraméterük felel meg a Jet A-1 előírásainak, viszont hagyományos üzemanyaghoz keverve javítanak egymás kémiai és fizikai tulajdonságaikon.

Folyékony biohidrogén és biometán

A cseppfolyósított hidrogén illetve metán a kriogén gázok csoportjába tartozik. Légijárművek üzemanyagaiként folyékony halmazállapotban használhatóak fel. Amennyiben biomassza szolgál alapanyagként előállításukhoz, akkor biohidrogénről és biometánról beszélhetünk.

A folyékony hidrogén égéshője 2,7-szer nagyobb, viszont sűrűsége kb. egytizede a kerozinénak. Elégetése során egyetlen szennyezőanyag, nitrogén-oxid kerül a légkörbe,

¹ IFP Energies nouvelles: Az energia, a közlekedés és a környezetvédelem területein kutatásokat végző illetve képzéseket lebonyolító francia központ. <http://www.ifpenergiesnouvelles.com/>

viszont az üvegházhatás erősödésében fokozottan szerepet játszik, hiszen használatával nagy mennyiségű víz jut a levegőbe, amely nagyobb magasságokban már gondot okozhat. Problémák a légijárművek üzemeltetésénél adódnak, hiszen kémiai és fizikai tulajdonságai nem engedik, hogy a jelenlegi tüzelőanyag-rendszerekben alkalmazható legyen, tehát átalakításokra van szükség. A légijármű fedélzetén történő tároláshoz egyfelől nagyobb tartályokra van szükség, mint a hagyományos tüzelőanyaghoz tervezettek, ha ugyanakkora energiát szeretnénk belőle kinyerni kisebb sűrűsége miatt. Továbbá a hidrogént folyékony halmazállapotban csak alacsony hőfokon lehet (-253 és -252°C között) tárolni, így szigeteléssel is el kell látni a tüzelőanyag-rendszert. [3]

A folyékony metán tulajdonságai nagyon hasonlóak a folyékony hidrogénhez, kerozinhoz képesti égéshője 1,5-szer magasabb, sűrűsége jóval kisebb mértékű, körülbelül a fele. Cseppfolyós állapotának fenntartásához alacsony hőmérséklet (-160°C alatti) szükséges maga után vonva a megfelelő vastagságú hőszigetelés kialakítását a tüzelőanyag rendszer egész felületén, illetve ennek a szerkezetnek majdnem a teljes átalakítását. Elégetése során nagyjából 25%-kal kevesebb szén-dioxid kerül a levegőbe, így csökkentve repülés alatt az üvegházhatású gázok kibocsátását. [3][4]

Kutatások folytak a kriogén gázok alkalmazhatóságával kapcsolatban a repülésben. A kísérletekben egy átalakított MI-8MTG helikoptert (4. ábra) használtak. Eredményül kapták, hogy a folyékony hidrogénből történő üzemanyag fogyasztás a hagyományos tüzelőanyaggal üzemelő MI-8-hoz képest kb. 2%-kal csökkent időre és távolságra lebontva is ugyanakkora utazó sebességnél, repülési távolságnál illetve felszálló tömegnél. [3]



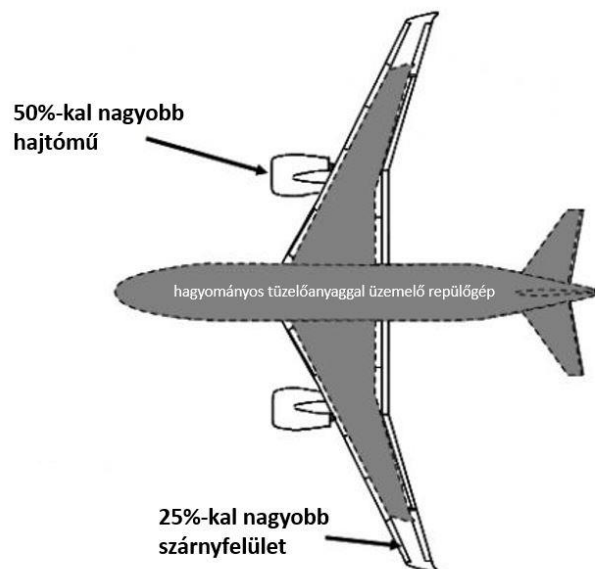
4. ábra MI-8MTG helikopter [6]

Bioalkoholok

A bioalkoholok alapanyagát keményítő, cukor, cellulóz illetve biogáz képezi, melyeket növényekből nyernek ki. Belőlük különböző technológiai eljárások útján (erjesztés, katalitikus átalakítás) etanol, butanol vagy propanol készül. Ezen alkoholok jóval tisztábban égnek a hagyományos üzemanyagokhoz képest, így a környezetbe körülbelül negyedannyi CO, ötödannyi SO_x és nehézfémekből pedig semennyi se kerül. Megújuló energiának számítanak, hiszen a feldolgozásra kerülő növények által megkötött CO₂ távozik a levegőbe.

A fent említett három alkohol közül az etanol a legelterjedtebb. Alacsony energiasűrűséggel, gyulladásponttal, cetánszámmal viszont nagy illékonysággal rendelkezik, így önmagában nem használható fel a repülésben üzemanyagként, ugyanakkor adalékanyagként bevált, hiszen oktánszámnövelésre alkalmas, bár hosszú távú és nagy magasságban történő repüléshez nem ajánlják. Hátránya, hogy a tüzelőanyag rendszerben korróziót indíthat el a fém alkatrészekben, például az alumíniumnál. Alacsony fűtőértéke miatt körülbelül 1,7-szer nagyobb üzemanyag tároló tartályra van szüksége a légijárműnek, ha

ugyanakkora távolságot kell megtennie, mintha hagyományos üzemanyaggal repülne. Alkalmazásához hajtómű illetve a földi kiszolgáló infrastruktúra átalakítása szükséges, főként a szállítás és a tárolás területén. [4][7]



5. ábra Etanollal és hagyományos üzemanyaggal (szürke színnel) üzemelő repülőgépek befoglaló méreteinek összehasonlítása [8]

Az Ipanema EMB 202A egy etanollal működő mezőgazdasági felhasználású repülőgép, melyet Brazíliában az Embraer vállalat gyárt. Első ilyen légi járművet 2005 márciusában szerelték össze, és 2014-ig 269 darabot értékesítettek belőlük. Népszerűsége azzal indokolható, hogy a fent említett dél-amerikai országban az etanol alapját főként cukornád szolgáltatja, amelyet nagy területeken természetesen, továbbá a hagyományos üzemanyaghoz képest 25%-kal kevesebbet fogyasztanak ezzel a bioüzemanyaggal üzemelő repülőgépek. Jelenleg az Ipanema flotta körülbelül 40%-a etanolt használ repülése során. [9]



6. ábra Ipanema EMB 202A típusú repülőgép [10]

Biodízel

A biodízel alapanyagául növények (szója, napraforgó, repce, stb.), állati eredetű olajok, zsírok (marhafaggyú, halolaj, különböző fajtájú algák, stb.) illetve használt sütőzsiradékok szolgálnak. Ez a bioüzemanyag nem toxikus, könnyen lebomló, aromás vegyületeket nem tartalmaz, így a környezetre mért terhelése alacsony, de figyelembe kell venni, hogy előállításánál (transzészterezés) sok vizet használnak fel. A hagyományos üzemanyagokkal

szemben elégetése során a lebegő részecskékből 50%-kal kerül kevesebb a légkörbe, égéstermékében a kén jelenléte 98%-kal alacsonyabb. A biodízel kiváló kenési tulajdonságokkal rendelkezik, fajlagos energiaértéke közel helyezkedik el a hagyományos dízelhez képest, viszkozitása szintúgy, viszont gyulladáspontja sokkal magasabb. [4]

A biodízel használható önmagában illetve hagyományos üzemanyagokkal keverve is hajtómű illetve kiszolgáló infrastruktúra átalakítása nélkül is. Légijárművek vele történő üzemeltetése során azonban figyelmet kell fordítani a kerozinhoz képest magasabb dermedési pontja illetve tárolás közben oxidációra (többszörösen telített és telítetlen zsírsavak jelenléte a biodízelben) nagyobb hajlandósága miatt, amelyek különböző adalékanyagok felhasználásával kedvezően befolyásolható. [4]

2014-ben a Boeing vállalat jó pár sikeres tesztrepülést hajtott végre az ecoDemonstrator programon belül egy Dreamliner 787-sel. Több újítással is kísérleteztek e repülőgépen, amellyel a repülésbiztonságot tudták növelni illetve csökkenteni a környezetet érő különböző káros hatásokat. Ez év decemberében úgynevezett zöld dízelt, amely növény olajokból, állati és használt sütőzsiradékokból készült, 15%-nyi arányban keverték a hagyományos üzemanyaghoz. Először csak a bal oldali hajtóművet táplálták meg vele, majd a további felszállások során már mindkét motor ezzel üzemelt. A kísérletek alatt megállapították, hogy a használt bioüzemanyag kémiaiilag hasonló a HEFA-hoz, amely használatát 2011-ben hagyták jóvá. [11][12]



7. ábra Boeing Dreamliner 787 az ecoDemonstrator programban [13]

LÉGIJÁRMŰVEKBEN HASZNÁLT BIOÜZEMANYAGOK ELŐÁLLÍTÁSA

A bioüzemanyagok előállításának módszerét és folyamatát befolyásolja egyfelől a létrehozandó alternatív tüzelőanyag típusa, másfelől a rendelkezésre álló alapanyag(ok). Az eljárások többfélék lehetnek (termokémiai, biokémiai, hidrogénezés, transzészterezés, stb.), melyek meghatározóak a létrejövő üzemanyag költségének, összetételének, kémiai és fizikai paramétereinek szempontjából, továbbá fontos e módszerek környezetre gyakorolt hatása is, hiszen ha követelményként állítjuk egy új alternatív üzemanyaggal szemben, hogy CO₂ semleges, megújuló és fenntarthatóság jegyében használható legyen, akkor törekedni kell arra illetve elvárhatóak ezek a feltételek az előállításuknál is.

Hidrogénezés

Hidrogénezés eljárást különféle állati és növényi zsírokon, olajokon szoktak alkalmazni, hogy zsírsavtartalmukat megváltoztassák. Két lépcsőben végzik ezt a műveletet. Első lépés a

nyersolaj finomítása hidrogénező katalizátor segítségével, majd ezt követi az izomerizáció, mely során olyan kémiai átalakulás megy végbe, ahol a kiindulási anyagok és a keletkezett termékek összetétele azonos, de szerkezetük különböző. A folyamat során hidrogént juttatnak a rendszerbe, és segítségével eltávolítják az oxigént. Erre két lehetőség is adódik: mindkét esetben a zsírsavláncot hidrogénezik. Az egyiknél a lánc hossza a reakció lefolyása után se változik, és megjelenik egyik végtermékként a víz, addig a másik folyamatnál rövidül a lánc, és szén-dioxid is keletkezik. [5]

A létrejövő üzemanyagot (ahogy azt már az előzőekben is említettem) HRJ-nek vagy HEFA-nak nevezik, mely nem tartalmaz se ként, se aromás vegyületeket, így elégetése során a hagyományos üzemanyagokhoz képest jóval, kevesebb szennyezőanyaggal terheli a környezetüket. Magas termikus stabilitással, cetánszámmal, gyengébb kenőképességgel illetve dermedési szinttel rendelkeznek, mint fosszilis eredetű társai, de adalékanyagok felhasználásával illetve keverékként történő alkalmazásával javíthatók ezek a paraméterek. [4]



8. ábra HRJ-5 és JP-5 jelzésű üzemanyagok keveréke [14]

Biokémiai eljárások

Biokémiai eljárások során biomasszából először szénhidrátokat állítanak elő, majd ezekből a vegyületekből különböző átalakításokkal alkoholt készítenek.

A Direct Sugar to Hydrocarbon (DSHC) módszer alapanyagául közvetlen cukorforrások vagy hidrolízisen átesett biomassza szolgálnak. Az eljárás a továbbiakban különböző enzimek hatására bekövetkező erjedéssel vagy erjesztéssel, fermentációval folytatódik. Az így kapott vegyületet tisztítják, végül hidrogénezik. A létrejött második generációs szénhidrogén üzemanyag életciklusa során (alapanyagai, előállítása, felhasználása) legfeljebb 82%-kal kevesebb üvegházhatású gázt bocsátanak a környezetbe a hagyományos tüzelőanyagokhoz képest. [4]

Az Alcohol To Jet (ATJ) eljárás, mint a neve is tartalmazza, alkohol alapú szénhidrogén üzemanyagok előállítására szolgál. Gazdaságos módszernek tekinthető a feldolgozott alapanyagokat tekintve (hulladék) illetve az eljárás során kis mennyiségű felhasznált energia miatt. Az alkoholokat szintézisgáz (szén-monoxid és hidrogén elegye) termokémiai átalakításával vagy biomassza hidrolízisének, fermentációjának, majd desztilláció útján hozzák létre. Ha az alapanyagokban közvetlenül megtalálható a cukor és a keményítő, akkor egyenesen, fermentáció útján átalakítható alkohollá, ellenben a biomasszát (pl. hulladékok) előkezelni kell hidrolízissel. [4]

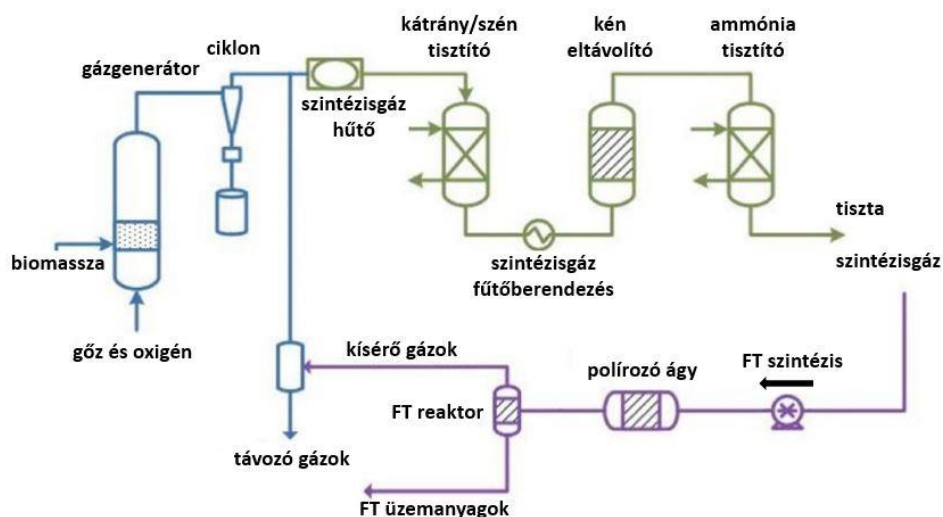


9. ábra Az Amerikai Egyesült Államok hadseregének Black Hawk helikoptere, amely 50%-ban ATJ üzemanyagot használt repüléséhez [15]

Termokémiai eljárások

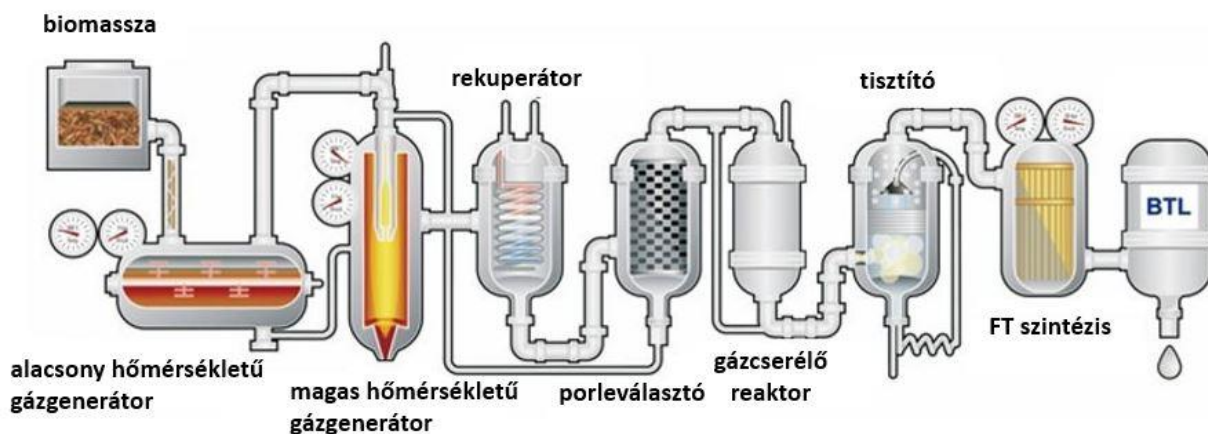
Bioüzemanyagok előállításánál biokémiai eljárások mellett termokémiai módszereket is alkalmaznak. A kiinduló alapanyag ezeknél a műveleteknél is a biomassa, melyet pirolízisnek, gázosításnak vagy úgynevezett feljavításnak vetnek alá. Pirolízis esetén a szerves anyagot magas hőmérsékleten, oxigén megvonásával bomlasztják, majd a végtermékként gáznemű (metán) és folyékony halmazállapotú (szénhidrogén) anyag keletkezik. Szintén szerves anyag a kiinduló alapanyag gázosítás esetén is, ahol a reakció ugyancsak magas hőmérsékleten (700 °C felett) megy végbe égés nélkül, szabályozott körülmények között, de ennél az eljárásnál a biomasszát oxigénnel vagy gőzzel reagáltatják, és szén-dioxid, szén-monoxid illetve hidrogén keletkezik, vagyis megjelenik a szintézisgáz, más néven termelőgáz. Továbbiakban a végtermékeket feljavításnak vethetik alá például a Fischer-Tropsch szintézisnek.

A Fischer-Tropsch eljárással (10. ábra) folyékony szénhidrogén üzemanyag állítható elő szintézisgázból, melyet biomasszából nyernek ki gázosítás útján. A reakció 150 és 300°C között megy végbe különböző anyagú (pl. vas, nikkel, stb.) katalizátorok jelenlétében. A folyamat végén keletkező szénhidrogének fajtái több tényezőtől is függnének, mint például a rendszer nyomásától, hőmérsékletétől illetve az alkalmazott katalizátor anyagától. A létrehozott szénhidrogén üzemanyag tisztán ég, nem tartalmaz aromás vegyületeket és ként, amelyek hiánya maga után vonja, hogy csökkenti a hagyományos tüzelőanyagokhoz képest gyengébb minőségű illetve üzemanyag szivárgás léphet fel, de megfelelő adalékanyagokkal mindkét probléma elhárítható vagy másik megoldásként nem önmagában, hanem keverékként használják. [4]



10. ábra Fischer-Tropsch eljárás [16]

A Biomass To Liquid (BTL) eljárás során biomasszából állítanak elő folyékony szénhidrogén üzemanyagot. Ez a módszer részben magába foglalja a Fischer-Tropsch szintézist. Kiindulási állapotként a biomasszát előkezelik (mechanikai, kémiai úton). Ezután gázosítással szintézisgáz keletkezik, majd ezt az elegyet tisztítva pirolízist vagy Fischer-Tropsch módszert alkalmaznak a végtermék létrejöttéhez. [4]



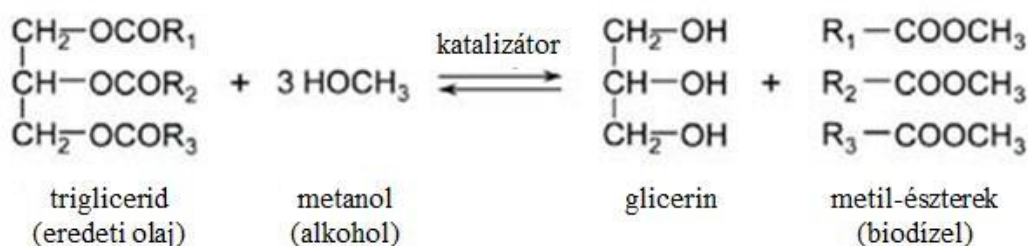
11. ábra BTL eljárás berendezései [17]

Egyéb bioüzemanyag előállítási eljárások

A kriogén gázok közül a folyékony hidrogén is előállítható biomasszából, például olajos magvakból, cellulóz tartalmú növényekből, de akár lakossági hulladékból is. Az alapanyagokat előkészítés után, magas hőmérsékleten elgázosítják, mely során hidrogén, szén-monoxid és szén-dioxid keletkezik. A létrejövő gázokból leválasztják a hidrogént kémiai módszerrel. Másik eljárás szerint különböző fajtájú algák és baktériumok által megtermelt olajat nyernek ki, és pirolízis útján, gőzt felhasználva hozzák létre a folyékony hidrogént. [4]

Állati zsiradékokból és növényi olajokból transzészterezéssel (12. ábra) biodízel állítható elő. Ez egy katalitikus egyensúlyi folyamat, mely során nyersolaj lép reakcióba alkohollal 1:3 mólnyi arányban. A végtermék glicerín és biodízel lesz. Az utóbbi ilyen állapotában még nem használható fel üzemanyagként, mert maradványokban található benne glicerín illetve alkohol, amelyeket többszöri vizes átmosással távolítanak el belőle. Ez a folyamat körülbelül 90 perc alatt lezajlik légköri nyomáson és 60°C-os hőmérsékleten, ha katalizátorként lúgot

alkalmaznak (emellett savak, enzimek is felhasználhatóak, de bázissal a leggyorsabb). A reakcióhoz különféle alkoholok applikálhatóak, de gazdasági szempontból a metanolt szokták előnyben részesíteni. [19]



12. ábra Transzészterezés folyamata² [18]

KÖVETKEZTETÉSEK

Gazdasági és környezetvédelmi szempontokat figyelembe véve szükséges az alternatív tüzelőanyagok és meghajtások folyamatos kutatása, fejlesztése illetve használata a légijárművek üzemeltetésénél. A fosszilis eredetű üzemanyagok elégetésénél szennyezőanyagok kerülnek a légkörbe, mint például az üvegházhatást erősítő gázok illetve vízgőz, melyet szintén nem szabad figyelmen kívül hagyni. Egyik lehetőség a károsanyag kibocsátás mérséklésére, ha bioüzemanyaggal üzemelnek. Sokféle alapanyagból készíthetőek, amelyek közé az emberi fogyasztásra illetve állati takarmányozásra szánt növények mellett, energianövények, állati zsiradékok, növényi olajok és különféle ipari, kommunális hulladékok sorolhatóak. Több nyersanyaggal szemben etikai aggályok merülnek fel, de a harmadik és negyedik generációs bioüzemanyagok már ezt is kiküszöbölik.

Üzemeltetés során fontos szempont, hogy a légijárművekben jelenleg használt tüzelőanyag-rendszerekkel az új üzemanyagok kompatibilisek-e, és ha igen, akkor milyen mértékben, tehát szükség van-e átalakításokra vagy sem. A bioüzemanyagok széles skálája biztosítja, hogy kisebb vagy nagyobb módosításokkal, különféle adalékanyagokkal ki tudják szolgálni a légijárműveket, üzemeljenek repülőbenzinnel vagy kerozinnal. Nagyobb tüzelőanyag-rendszer átalakításra a kriogén gázok illetve a bioalkoholok használatánál van szükség, viszont a HRJ változtatások nélkül is bevezethető a jelenleg üzemelő légijárművek üzemanyagaként. Mindegyik bioüzemanyagról elmondható, hogy a velük szemben támasztott környezetvédelmi követelményeket kielégítik.

A cikkben bemutatott eljárások külön-külön illetve egymás kombinációjaként is használhatóak. Mindegyik módszernek létezik előnye és hátránya is, hiszen a legkülönbélebb alapanyagokból állítják elő a bioüzemanyagokat, így egyiket sem lehet kiemelni a többi közül. Azonban figyelembe kell venni azt a szempontot is, hogy a tüzelőanyagok készítése se legyen környezetszennyező és az esetlegesen keletkező melléktermékek szintén fel legyenek használva. A világon több vállalat is foglalkozik termelésükkel, például az amerikai Solazyme illetve a spanyol AlgaEnergy algákból biodízelt, a szintén amerikai Fulcrum BioEnergy városi hulladékból kerozint és a brazil GranBio cukornádból etanolt gyárt.

A kutatásoknak köszönhetően, melyekben légijármű gyártók és légitársaságok mellett laboratóriumok, kutatóhelyek is részt vesznek közösen, a fejlesztések tovább folynak, hogy minél nagyobb energiasűrűségű, a repüléshez használható, környezetbarát, megújuló bioüzemanyagokat állítsanak elő a fenntartható fejlődés jegyében.

² A képletekben szénhidrogén csoportokat jelölnek az R₁, R₂, R₃ jelzések.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] *Generations of Biofuels*; Oregon State University <http://agsci.oregonstate.edu/sites/agsci.oregonstate.edu/files/bioenergy/generations-of-biofuels-v1.3.pdf> (letöltve: 2017. 02. 08.)
- [2] 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.)
- [3] ÓVÁRI GY., SZEGEDI P: *Hagyományos repülőgép-üzemanyagok kiváltásának lehetőségei és korlátai*. *Hadmérnök*, V 4 (2010), 16-37. o. http://hadmernok.hu/2010_4_ovari_szegedi.pdf (letöltve: 2016. 09. 09.)
- [4] KANDARAMATH, H. 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.)
- [5] 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.)
- [6] ÓVÁRI GY.: *Öreg helikopter nem vén helikopter, a MI-8-as helikopter – Magyarország számára is számításba vehető – modernizációs lehetősége*. *Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban*, (2014), 1-14. o. http://store1.digitalcity.eu.com/store/clients/release/mtekmr_2014.pdf (letöltve: 2015. 09. 15.)
- [7] 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.)
- [8] https://usercontent1.hubstatic.com/3391808_f520.jpg (letöltve: 2017. 04. 27.)
- [9] *Embraer celebrates 10th anniversary of ethanol-powered Ipanema*. Embraer vállalat honlapja, (10/16/2014), <http://www.embraer.com/en-US/ImprensaEventos/Press-releases/noticias/Pages/Embraer-celebra-dez-anos-do-Ipanema-movido-a-etanol.aspx> (letöltve: 2017. 04. 27.)
- [10] <http://www.embraer.com/nva/img/airplanes/agricultural/ipanema.jpg> (letöltve: 2017. 04. 27.)
- [11] *The Boeing ecoDemonstrator Program*. (2015), http://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/principles/environment/pdf/Background_ecoDemonstrator.PDF (letöltve: 2017. 04. 28.)
- [12] *Test flight is first 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.)

- [13] http://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/company/about_bca/washington/test-flight-is-first-to-use-green-diesel-as-aviation-biofuel-12-3-2014/9290-16503.jpg (letöltve: 2017. 04. 28.)
- [14] <http://www.gettyimages.com/event/biofuel-testing-at-patuxent-river-naval-air-station-140168892#beakers-containing-a-blend-of-jet-fuel-and-biofuel-are-arranged-for-a-picture-id140081474> (letöltve: 2017. 04. 04.)
- [15] <http://www.americanfuels.net/2013/12/gevo-supplies-us-army-with-atj-8-fuel.html> (letöltve: 2017. 04. 28.)
- [16] <https://www.cset.iastate.edu/files/2011/06/Screen-Shot-2011-10-21-at-2.08.20-PM-1024x544.png> (letöltve: 2017. 05. 02.)
- [17] http://www.biofuelstp.eu/images/Choren_BTL_Production_Process.jpg (letöltve: 2017. 05. 02.)
- [18] <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0734975007000262> (letöltve: 2007. 01. 23.)
- [19] CHISTI, Y.: Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*, 25 3 (2007), 294-306. o., <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0734975007000262> (letöltve: 2007. 01. 23.)

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.

