

Rozovicsné Fehér Krisztina¹

GAZDASÁGOS ÉS KÖRNYEZETBARÁT ÜZEMELTETÉS LEHETŐSÉGEI A REPÜLÉSBEN

(POSSIBILITIES OF ECONOMICAL AND ENVIRONMENTALLY FRIENDLY OPERATION IN AVIATION)

A gazdaságosságnak és a környezetvédelemnek egyre nagyobb szerepe van a légi közlekedésben, legyen szó akár polgári, akár katonai légijárművekről. Költséghatékonyabbá tehető a repülés, ha alternatív meghajtásokat, üzemanyagokat, módszereket alkalmazunk a fosszilis eredetű hajtóanyagok helyett. Első körben a fejlesztések arra irányultak, hogy kevesebb hagyományos üzemanyagot használjanak fel a repülőgépek (pl. Delilah projekt vagy Airbus Bluecopter technológia). Más kutatóhelyek inkább arra helyezték a hangsúlyát, hogy újfajta üzemanyaggal (például bio vagy szintetikus) álljanak elő, akár a levegő CO₂-jából vagy városi hulladékból előállítva azokat. A földi után a légijárművek egyes példányait is ellátták elektromos meghajtással, amelyek napelem (Solar Impulse), üzemanyagcella (Antares) vagy hibrid rendszer (HY4) segítségével repülnek. De nem csak a levegőben kell takarékoskodni a felhasznált energiával, hanem a földi, repülőtéri működtetésnél is, amely közben a repülőgép tartályaiba feltöltött üzemanyagának akár a 4%-át is elhasználhatja. Ennek kiküszöbölésére egy lehetséges megoldás a repülőeszközök elektromos energiával történő mozgatása a repülőtereken.

Kulcsszavak: repülőgép üzemanyag, alternatív üzemanyag, elektromos meghajtás, hulladék, költség-hatékonyság

The economic and environmental considerations have a continuously increasing role in air traffic and transport either in civil or military aviation. The aviation can be made more cost effective using alternative propulsion systems and fuels instead of the traditional fossil fuels. In this days there are numerous available developments in this field, however not all of them have reached the mature status. The first step of developments aimed to use less traditional fuel by the aerial vehicles (Delilah Project or Airbus Bluecopter technology). Other researchers rather have tried to produce new kind of fuels (bio or synthetic) from communal garbage or from the extracted atmosphere carbon dioxide. After the ground vehicles some of the aerial vehicles are also driven by electric power using solar cells (Solar Impulse), fuel cells (Antares), or hybrid systems (HY4). But the atmosphere is not the only place we have to think about the economical energy consumption. The ground motion (taxiing) of aircraft can also consume even 4% of the total fuel consumption. The solution can be the electric driven surface motion of helicopters and airplanes in airports.

Keywords: aircraft fuel, alternative fuel, electric driving, waste, cost effectiveness

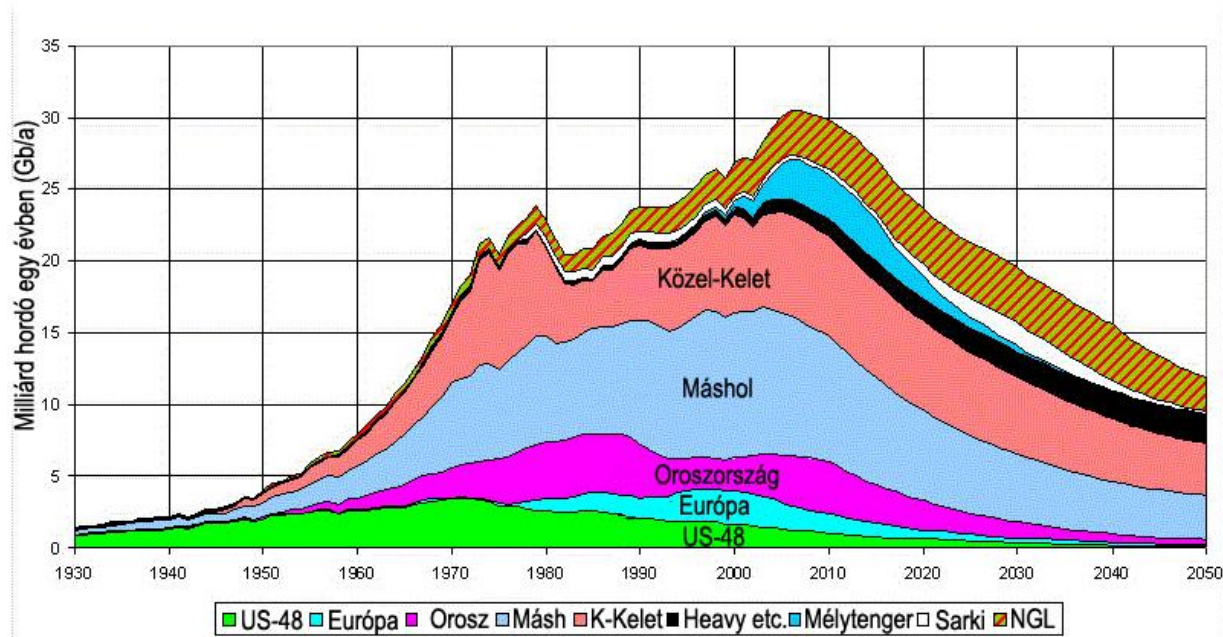
BEVEZETÉS

A légi közlekedés az utóbbi években folyamatosan fejlődik, egyre több ember választja ezt a formáját utazásának, egyre több cég szállítja termékeit légi úton. Ennek a vonzata, hogy egyre

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

nagyobb a légitjárművek üzemanyag felhasználása, melynek egyik kedvezőtlen hozadéka a növekvő mértékű környezetszennyezés is.

Évek óta tudott, hogy a hagyományos módszerekkel hozzáférhető fosszilis energia-hordozók mennyisége csökken (1. grafikon). Miután egyre nehezebben termelhető ki az üzemanyagaink előállításához szükséges kőolaj és föld-/palagáz, így azok folyamatosan drágulnak, az emelkedő beszerzési árak az üzemeltetési költségek növekedését is eredményezik a polgári és a katonai felhasználók számára egyaránt.



1. grafikon Olajkitermelés mennyisége és a kitermelő országok, térségek. [1]

„Az üzemeltetési folyamat üzemvitelből (üzembentartás és légi üzemeltetés), üzemállapotokból és a köztük fennálló kapcsolatokból épül fel.” [2: 22] Az előző meghatározás alapján belátható, hogy a gazdaságos és környezetkímélő üzemeltetést nem csak a levegőben tartózkodó légitjárművekre vonatkozik, hanem a földön közlekedőkre (pl. a repülőtéri gurulóutakon haladókra, járó hajtóművel várakozókra, stb.) is.

A repülőeszközök üzemeltetőinek a gazdaságosság mellett a hatékonyságot is szem előtt kell tartaniuk, melyek mennyiségi és minőségi módszerekkel befolyásolhatóak. [3] Jelenleg, úgy a légierők, mint a civil légitársaságok, - amennyiben egyáltalán van választási lehetőség - hatékonyságukat inkább minőségi oldalról törekednek javítani. Célszerűbb ez a mennyiségi változtatásnál, hiszen kedvezőbb korszerű, kevesebb üzemanyagot felhasználó légi-járművekbe befektetni, vagy a meglévőket ilyenre átalakítani, mint többet vásárolni korszerűtlenebbekből.

A rendelkezésre álló szakirodalomból [4] is látható, hogy átfogó vizsgálatok indultak a fosszilis energiahordozóktól való függés megszüntetésére, csökkentésére, illetve azok gazdaságosabb felhasználhatóságuk lehetőségeinek feltárására. A tanulmányozott hazai és külföldi cikkekből, kutatási beszámolókból, jelentésekből az is kiderült, hogy a gazdaságosabb, hatékonyabb alternatív üzemanyagok felhasználási lehetőségeinek kutatásába már több nagy légitjármű gyártó vállalat (Airbus, Boeing) mellett magáncégek (pl. Lange Aviation), illetve a különböző egyetemek (pl. Lublini Műszaki Egyetem) is bekapcsolódtak. Cikkem további részében e lehetőségeket, fejlesztéseket szeretném bemutatni, illetve összevetni.

1. KEVESEBB FOSSZILIS EREDETŰ ÜZEMANYAGOT FELHASZNÁLÓ HAJTÓMŰVEK ÉS HELIKOPTEREK FEJLESZTÉSE

Az üzemeltetés gazdaságosságának egyik jelentős összetevője az üzemanyagok felhasználási költségének csökkentése (pl. alacsonyabb fogyasztású hajtóművek alkalmazásával).

Delilah Projekt

2014-ben tette közzé a Lublini Műszaki Egyetem kutatási eredményeit helikopter-hajtómű fejlesztés terén. A projektet az Európai Unió finanszírozta, és a Delilah (Diesel Engine Matching the Ideal Light Platform of the Helicopter) nevet kapta, melyben célul tűzték ki egy környezetkímélőbb helikopter-hajtómű létrehozását. A kutatás nagyon sok követelménynek kellett egyidejűleg megfeleljen. Például a létrehozandó hajtómű súlyban, méretben nem lehetett nagyobb az eddig használt hagyományos, szabadturbinás kivitelűeknél (ezek kiváltására készült!), üzemanyag felhasználásának (teljesítmény csökkenés nélkül!), a károsanyag és zaj kibocsátásnak, bekerülési költségeknek érdemben csökkennie kellett, a jelenlegi konstrukciókhoz képest.

A létező belsőégésű motor kialakításokat (boxer, csillag, kettő és négyütemű, Wankel, stb.) összevetve legígéretesebbnek a V8 elrendezésű turbódízel motor mutatkozott. A kutatás és fejlesztés sikerességét mutatta, hogy ez a hajtómű:

- 50%-kal kevesebb üzemanyagot fogyaszt,
- kerozin helyett, gázolajon kívül szintetikus tüzelőanyaggal is működik,
- alacsonyabb a zaj és károsanyag kibocsátása.

Negatívuma e megoldásnak, hogy jelenleg csak könnyű, egymotoros helikoptereknél alkalmazható. [5]

Bluecopter Technológia

Az Airbus vállalat is törekszik kivenni részét a környezetkímélőbb hajtóművek fejlesztéséből. E cél megvalósítására Turbomeca Arrius 2F típusú szabadturbinás hajtóművet építettek (1. kép) melynek CO₂ és NO_x károsanyag kibocsátási szintje számottevően csökkent.



1. kép Turbomeca Arrius 2F motor. [6]

További fejlesztéseik eredményeként, a vállalat által gyártott helikopterek azonos hajtómű teljesítmény mellett nagyobb utazó sebességgel, rövidebb idő alatt teszik meg útjukat, így is csökkentve az üzemanyag felhasználásukat. Ehhez hozzájárult az aerodinamikailag kedvezőbb sárkány és forgószárny lapát kialakítás is. Az utóbbi a formáját áttervezték (a kilépőélre

3 kitérhető szekciót helyeztek el beépített piezoelektromos érzékelőkkel, melyek jeleket küldenek a központi vezérlőrendszerhez).

Hátránya e komplex fejlesztésnek is, - mint az előzőekben bemutatott Diesel-motornak - hogy egyelőre csak könnyű helikoptereken alkalmazható. [7]

2. HAGYOMÁNYOS LÉGIJÁRMŰ ÜZEMANYAGOK HASZNÁLATÁNAK CSÖKKENTÉSI ÉS KIVÁLTÁSI LEHETŐSÉGEI

Bio- és szintetikus üzemanyagok

A bio- és a szintetikus üzemanyagok (nem kezelhetőek egymástól teljesen külön!) rendszerint környezetkímélőbb működést biztosítanak a belsőégésű motoroknak, mivel égésükkor kevesebb káros anyaggal terhelik a környezetet mint a hagyományos üzemanyagok. Az elsők ezek közül, még a második világháború előtt, szénből készítették Németországban.

Ma már - a fejlesztéseknek köszönhetően - több fajtájuk is létezik, elnevezésükre rendszerint 3-4 betűs mozaikszó szolgál, melyben az 'L' betű cseppfolyós(ított) halmazállapotukra utal (pl. GTL Gas to Liquids vagy CTL Coal to Liquids). [8]

Katonai kipróbálásra elsőként a USAF B-52 repülőgépe használt ilyen üzemanyagot 2006-ban, 50%-os keverési arányban a hagyományos kerozinnal. Két évvel később már egy Airbus A380 is hasonló keverékkel (60:40 %-os kerozin:GTL) emelkedett a magasba, 3 órás sikeres tesztrepülésre. Mivel az USA jelentős mennyiségű kőszén készlettel rendelkezik, tervek szerint a légierejében használt üzemanyagok 70 %-a 2025-re szintetikus, azon belül is CTL lesz. [8]

A biomasszából előállított BTL üzemanyagoknak (Biomass to Liquid) két fő csoportja használatos a biodízel és a bioetanol. Ezek alapanyagai magas cukor-, cellulóz-, keményítő- vagy olajtartalmú növények, de algából és faggyúból előállított bioüzemanyag-fajta is létezik, (Bio-SPK - Bio Derived Synthetic Paraffinic Kerosene).

A nagy légitársaságok már tervezik, hogy költségcsökkentési céllal, - egyelőre fosszilis üzemanyaggal keverve - járataik repüléséhez bioüzemanyagot használjanak fel. Továbbá a United Airlines amerikai légitársaság befektetett egy Fulcrum BioEnergy nevű vállalatba, amely légi bioüzemanyagot állít elő, akár embertől származó hulladékból is. A British Airways is hasonló célú üzem felállításának lehetőségét mérlegeli 2017-re, amivel többé-kevésbé függetleníthetnék magukat az üzemanyag-beszállítóktól. [9]

Nem csak a légitársaságok érdeklődése fordult a fenti üzemanyagok felé, hanem az amerikai légierőé is. Az USAF 2014-ben sikeres tesztrepüléseket végzett UH 60A Black Hawk (2. kép) és CH-47 Chinook típusú helikopterekkel, beléjük emberi fogyasztásra alkalmatlan kukoricából készített üzemanyagot feltöltve. [10]



2. kép Black Hawk helikopter tesztrepülésen. [11]

2015-ben két fejlesztés is megvalósult. Az egyik újítás alapját a folyamatosan termelődő városi szilárd hulladék (angolul: municipal solid waste – MSW) adja, melyből légijárművek számára üzemanyagot készít az amerikai Fulcrum BioEnergy vállalat. Ehhez csatlakozott további két nagy hulladékszállító cég, illetve két légitársaság is, a Cathay Pacific és a United Airlines.

Utóbbi szerződésben vállalta, hogy évi 90 millió gallont (kb. 341 millió liter) vásárol fel ebből az üzemanyagból, mely az éves felhasználásának 3%-a. További fogyasztói lesznek az USAF, USNAVY valamint az Egyesült Államok Mezőgazdasági Minisztériuma. Jelenleg az első üzem létesül Sierra Biofuel néven (3. kép), amelyben 2017-ben tervezik a termelés beindítását. Évente 180 ezer tonna hulladékból ~12 millió gallon (45,5 millió liter) üzemanyagot kívánnak előállítani, ~1 USD/gallon áron. A közeljövőben öt további új üzem létrehozását is tervezik. [12]



3. kép Sierra Biofuel üzem látványterve. [13]

A másik fejlesztési koncepció szerint, úgy kívánnak repülőgép üzemanyagot előállítani, hogy közben csökkentsék az atmoszféra CO₂ tartalmát. A Carbon Engineering kanadai cég alkotta meg az Air Capture ('levegő leválasztó') berendezést (4. kép). Három lehetséges opció is adódik arra, hogy a berendezésen áthaladó levegőből kivont szén-dioxidot hogyan használják fel üzemanyag létrehozására:

- olajtermelés fokozása (szén mennyiségének fele kerül vissza a szén körforgásba),

- algák táplálása (amelyekből bio tüzelőanyag készül),
- folyékony szénhidrogénekké történő átalakítása.

A bemutató üzem építése Brit Kolumbiában kezdődött meg a 2015 elején. A tervek szerint évi 10 millió tonna CO₂-ot távolítana el a légkörből normál működés esetén. [14]



4. kép Air Capture. [15]

A bio- és szintetikus üzemanyagokkal csökkenthető a légi közlekedés által kibocsátott károsanyag mennyisége, de ez egyelőre teljesen nem függetleníthető a fosszilis energiahordozóktól. Továbbá etikai kérdést vet fel, hogy mekkora termőföldek áldozhatóak fel olyan, üzemanyag előállításra szolgáló növények termesztésére, amelyeken étkezési alapanyagként is számításba vehetőek, vagy helyükön ilyen termesztése is lehetséges lenne.

Kriogén gázok alkalmazása

Paraffin-szénhidrogének (is) jelennek meg melléktermékként pl. a kőolaj, földgáz kitermelés során. Ezek közül néhány (metán, etán, propán, bután, hexán) cseppfolyósított állapotba hozható, vagy egyesek anélkül is üzemanyagként felhasználhatóak a légijárművekben. Hasonlóan, a hidrogén is hasznosítható üzemanyagként. Utóbbi előnye, hogy korlátlanul előállítható vízből, illetve tüzelőanyagként történő elégetésekor is víz keletkezik belőle, így környezetbarát üzemanyagként tekinthető. (Természetesen csak akkor, ha az előállításánál sem használnak környezetkárosító energiahordozókat, illetve ha nem vesszük figyelembe, hogy a magas légkörben kicsapódott vízgőz is fokozza az üvegházhatást.) [16]

Folyamatos fejlesztések folynak a kriogén gázok légijárművek üzemanyagaként történő felhasználására, (pl. IL-114, Tu-156 és Mi-8-MTG típusoknál), mindeközben a kutatók számos nehézséggel is szembesültek. A meglévő, hagyományos üzemanyag-rendszerekben nem használhatóak ezek a gázok fizikai és/vagy kémiai tulajdonságaik miatt (pl. alacsony forrás- és olvadáspont, magasabb nyomás, stb.), így átalakításra szorulnak. Továbbá a földi kiszolgálás infrastruktúrája sem maradhat meg jelenlegi formájában, ha vezetékeiben, tartályaiban nagynyomású és/vagy alacsony hőmérsékletű kriogén gázokat kell tárolni, szállítani, feltölteni. [17] Pozitívumuk viszont, hogy a hajtóművek valamivel kevesebbet használnak fel e gá-

zokból (lásd 1. táblázat), viszont előállításuk jelenleg még költséges és nem is kellően környezetkímélő.

No	Vizsgált jellemző	MI-8 MT bázis	MI-8MTG gáz üzemanyaggal			MI-8MT +260 kg kerozinnal
			L=const (640 km)	G _{terh} =const (1550 kg)	teljes feltöltés	
1.	m _{norm} , felszálló [kg]	11100	11130	11130	11130	11100
2.	m _{üres} [kg]	7523	7683	7683	7683	7623
3.	m _{üza} , felszálló [kg]	2027	1988	1897	2241	2287
	- kifogyasztó tartály:	345	345	345	345	345
	- főtartály:	1682	1643	1552	1896	1682
	- póttartály:	-	-	-	-	260
4.	Üza. fogyasztás [kg] (H=const esetén)	1682	1651	1560	1904	1941
5.	Óránkénti üzemanyag fogyasztás [kg/ó]	605	593	593	593	605
6.	Kilométerenkénti üza. fogyasztás [kg/km]	2,63	2,58	2,58	2,58	2,63
7.	Utazó sebesség [km/ó]	230	230	230	230	230
8.	H _{max. stat} [km]	4	4	4	4	4
9.	Hasznos terhelés [kg]	1550	1495	1550	1206	1191
10.	Repülési távolság [km]	640	640	605	738	738

1. táblázat Mi-8MT és Mi-8MTG repülési teszteredményeinek összehasonlítása. [18]

Elektromos meghajtás

Az elektromos meghajtás energetikai táplálására jelenleg két már bevált lehetőség és egy új fejlesztés adódik: a napelem, az üzemanyagcella alkalmazása illetve a teljes elektromos üzemelésű légitársaság.

Köztes megoldásként - fosszilis üzemanyagot is felhasználva - létezik a hibrid rendszer is, ahol a repülőgépek (5. kép) hajtásrendszerét egy hagyományos belsőégésű- és egy elektromotor együttese alkotja az akkumulátorok mellett.

Felszálláskor és repülés közben emelkedéskor, - amikor maximális tolóerőre van szükség - mindkét motortípust használják. Utazó sebességgel történő haladáshoz már nincs szüksége a belsőégésű motor által leadott toló-/vonóerőre, az csak az akkumulátorokat tölti.

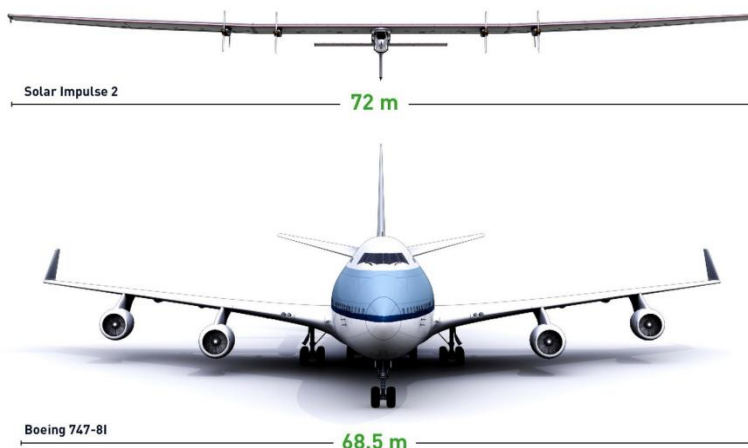
E repülőgépek előnye a hagyományos üzemanyaggal működőkéhez képest, hogy tömegük, így fogyasztásuk is kisebb, illetve zajkibocsátásuk is csekély. Hátrányuk, hogy jelenleg csak a kisgépes repülésben alkalmazhatók. [20] [21]



5. kép Stemme vállalat által gyártott S6-os repülőgép. [19]

Az elektromos meghajtású repülőgépek másik változata napelemmel működik. Ezek fejlesztése napjainkban már ott tart, hogy működésükhöz nincs feltétlenül szükség közvetlen napfényre. Az első, pilóta által vezetett napelemes repülőgép a Solar Challenger volt, amely 1980 novemberében emelkedett a levegőbe. Őt követte a Sunseeker, Sunseeker Duo, Icaré II és Solar Impulse. Ezekkel együtt fejlődött a Helios illetve a Zephyr is, amelyek az UAV-k (unmanned aerial vehicles – pilóta nélküli légi jármű) csoportjába tartoznak. A Heliosnak több prototípusát is létrehozták a NASA-nál, az Erast programon belül, és sikerült repülési magasság rekordot (96 863 láb) dönteniük vele. Szárnyai felső felületén (fesztség 75 m) 62000 napelemet helyeztek el. [22]

Ennél kevesebb monokristályos (hatékonyabb teljesítmény átadású) napelemet rögzítettek a Solar Impulse repülőgépek sárkányán. Ezt a prototípust a Solar Impulse 2 követte, melynek fesztségje közel 72 m, ami meghaladja egy Boeing 747-ét (6. kép). A Solar Impulse 2-nek nem csak a szárnyán, hanem a vezérsíkjain és a törzsén is helyeztek el napelemeket, összesen 17248 darabot. Ezek a lítium-polimer akkumulátorokat látják el energiával. Négy darab 13 kW-os elektromos motor hajtja meg a légszárakat. A két pilóta, - akik a fejlesztésekben is részt vettek - 2015-ben ezzel a repülőgéppel elkezdték a Föld körülrepülését. Útjukat az útközben tönkrement akkumulátorok, illetve a repülésre alkalmatlanná vált időjárás miatt ugyan megszakították, de 2016-ban folytatták és májusra elérték az USA területét. [24]



6. kép Solar Impulse 2 és Boeing 747 fesztségvolsága. [23]

Bár a napelemes repülőgépek a leginkább környezetkímélő üzeműek, egyelőre nem helyettesíthetik a hagyományos üzemanyagokkal (kerozin, benzin) működőket sem a személy-, sem a teherszállításban, mivel használatuk jelentősen függ az időjárási viszonyoktól, repülési sebességük alacsony (Solar Impulse 2 a maximális sebessége 140 km/h, az utazó 70 km/h). Akkumulátoraik egységnyi tömegre jutó energiataralma sem veheti fel a versenyt a kerozinnal, illetve töltésük is hosszú időt vesz igénybe.

Több üzemanyagcella megoldás ismeretes, attól függően, hogy milyen elektrolitot alkalmaznak bennük a katód, anód és a katalizátor mellett. (Írántuk úgy a földi, mind a légi közlekedésben is jelentős az érdeklődés.). Napjainkban ez irányban két repülőgép fejlesztés emelhető ki: a Diamond HK36 Super Dimona, illetve az Antares repülőgép család (7. kép).



7. kép Antares 20E repülőgép. [25]

Az előbbi a Diamond Aircraft Industries gyártja és a Boeing fejlesztett hozzá üzemanyagcellát, míg az utóbbit a Lange Aviation GmbH építette meg. Mindkét repülőgép meghajtásához a hidrogén szolgáltatja az energiát, károsanyag kibocsátásuk nincs, és zajterhelésük is rendkívül alacsony. Az Antares H3, - a Lange repülőgép család legújabb fejlesztése - repülési sebessége 250 km/h, melyet 32 kW-os elektromotorjainak és 23 m-es szárnyfeszítávolságának köszönhet. Ezzel szemben a Diamond HK36 kisebb geometriai méretű modell (feszítávolság 16,3 m) a maximális sebessége 100 km/h. [26] [27]

Nagyobb repülőgépeken (Airbus A320) is folyamatosan tesztelik az üzemanyagcellákat, de egyelőre csak a segéd, illetve kiegészítő energiaforrásként hasznosítják a világítás és az avionikai rendszerek táplálására.

Az akkumulátorokkal szemben az üzemanyagcellák további kedvező tulajdonságai a kisebb tömeg és méret, nagyobb megbízhatóság, illetve érzéketlenségük a hőingadozásokra. Mindazonáltal, ezek is csak akkor tekinthetők teljesen környezetkímélő megoldásnak, ha hozzájuk a hidrogén előállítása is környezetszennyezés nélkül történik.

Harmadik lehetőség a teljes elektromos meghajtás, amelyet az Airbus E-Fan repülőgépe képvisel (8. kép). 2015 júliusában emelkedett először a levegőbe, és 74 km-et tett meg 37 perc alatt. A tervek szerint ebben az évben elkészül a 2.0-s illetve a 4.0-s változat is egyelőre csak

prototípusként. Az előző verzió kétüléses és a pilótaképzésben számolnak vele, míg az utóbbi négyülésesként a polgári légi közlekedés piacán kívánják értékesíteni. [28]



8. kép. Airbus E-Fan repülőgép. [29]

3. LÉGIJÁRMŰVEK MOZGATÁSA ELEKTROMOS ESZKÖZÖKKEL A REPÜLŐTEREKEN

A gazdaságos és környezetkímélő üzemeltetésre nem csak a levegőben szálló légi járműveknél kell törekedni, hanem akkor is, amikor a földön gurulnak (pl. starthelyükre felszállás előtt, vagy leszállás után az állóhelyükre térnek vissza, illetve forgalmi okokból járó hajtóművekkel várakoznak). Ilyenkor üzemanyaguk 2-4%-át is felhasználhatják, amely forgalmas, nagy repülőtéren naponta 44 t-nyi kerozin felhasználást is elérhet. E probléma megoldására a repülőeszközök repülőtéri mozgatóját biztosító új megoldásokat kezdtek fejleszteni.

A *WheelTug* rendszerrel (9. kép) a légi járművek orrfutóművére szerelik fel a meghajtó villanymotort, melyek táplálásáról a segédhajtómű (APU) gondoskodik.



9. kép. WheelTug rendszer az orrfutóművön. [31]

Az első tesztre egy Boeing 737 repülőgéppel 2005-ben került sor. Jelenleg már 23 légitársaság alkalmazza e megoldást 985 járművén, (pl. a KLM, Alitalia, Icelandair, Israir Airlines,

stb.). A WheelTug rendszer nagy előnye, hogy utólag, konstrukciós változtatások nélkül is felszerelhető a legtöbb típus futómű kerekeire. [30]

Az EGTS (Electric Green Taxiing System) megoldásnál - a WheelTug-tól eltérően - a meghajtó villanymotort a főfutómű kerekeire szerelik. Ezek energetikai táplálását szintén a repülőgép segédhajtóműve biztosítja. A fejlesztést végző két cég (Honeywell – kiegészítő villamos rendszerek, Safran – futómű rendszerek) ezzel 2013-ban a Párizsi Air Show-n mutatkozott be először. Több légitársaság (Interjet, EasyJet, Air France) illetve egy repülőgép gyártó vállalat (Airbus) is együtt működik az EGTS programban. A fejlesztők becslése szerint (2014-es adatok alapján) a forgalmi kihasználtságtól függően évente 200000÷450000 USD költségmegtakarítás érhető el repülőgépenként, e rendszer alkalmazásával. [32]

A német *Mototok* (10. kép) egy rádió-távvezérelt önjáró toló-vontató eszköz, így irányítójának nem kell a járművön tartózkodnia. Pár másodperc alatt rácsatlakoztatható a légijármű orrfutójára. Elektromos motorjai a működésükhöz szükséges energiát zselés, karbantartásmentes akkumulátoraiból nyeri, amit két nagyteljesítményű mikroprocesszor vezérel. Jó manőverező képességének köszönhetően segítségével akár 40%-kal javítható a repülőgépek elhelyezésekor a helykihasználás a hangárokbán. Ezt a rendszert több hadsereg (pl. kínai, dán, francia), valamint a philadelphiai és zürichi repülőtereken, illetve a British Airways is használja. [33]



10. kép Mototok használata helikopteren. [34]

Következő és egyben utolsó jelenleg használatos megoldás a légijárművek repülőtéren történő földi mozgatására a TaxiBot rendszer (11. kép). Ennél nem elektromos vontatót, hanem a meglévő, korszerű Diesel-motoros toló-vontató (un. push-back) járműveket használják az eddigiektől eltérő módon. Az új alkalmazási technológiát az IAI (Israel Aerospace Industries) és az Airbus vállalat közösen fejlesztette ki.

Két változatuk létezik az NB (Narrow-Body) illetve a WB (Wide-Body), így biztosítva a különböző geometriai méretű és felszálló tömegű légijárművek gazdaságos repülőtéri mozgatását. A pilóta a repülőgépvezető-fülkéből irányíthatja a TaxiBot-ot, amely az utas terminál ki és beszállító "csápjáról" kitolva a repülőgépet kivontatja egészen a felszálló pálya végéig és csak itt történik meg a gázturbinás hajtóművek indítása. Ezt követően kapcsolódik le a légijárműről és automatikusan vezérelve tér vissza a diszpécser által megadott koordinátára. Akár 23 csomós sebességgel is képes vontatni. E gépjárműveket (is) folyamatosan fejlesztik a Boeing és az Airbus vállalatok segítségével. [35]



11. kép TaxiBot vontatás közben. [36]

A repülőgépek elektromos és dízel-meghajtású eszközökkel történő mozgatása révén üzemanyag, vontatási idő, az igen drága gázturbinás hajtómű-üzemidő takarítható meg, úgy, hogy közben a zajszennyezés, valamint a károsanyag kibocsátás is kisebb lesz. További kedvező sajátosság, hogy a guruló utakon elektromos, vagy dieselvontatással haladva, megszűnik a gázturbinás hajtóművek idegentárgy beszívási veszélye is. Így ezek a lehetőségek nem csak környezet kímélőek, hanem gazdaságosak is. [37]

4. KÖVETKEZTETÉSEK

Belátható, hogy az egyre dráguló üzemanyagárak valamint a rohamosan terjedő környezettudatos szemlélet és ennek egyre szigorodó, a nemzetközi szabványokba (is) lefektetett normái, égetően szükségessé teszi a hatékony, gyakorlati eredmények kimunkálását, azok megjelenését és széleskörű bevezetését is. Ezek közül néhány, (mint például a légijárművek elektromos meghajtással történő mozgatása a repülőtereken) már jelenlegi formájában is igen jól használható, de a több megoldás még nem teljesen kiforrott, további kutatásokat igényel. Erre példák a hajtómű- és helikopterfejlesztések, melyek jelenlegi részeredményei ugyan biztatóak, illetőleg már hasznosíthatóak a gyakorlatban, de egyelőre még csak a kisgépes repülésben és ott is korlátozásokkal. Kedvezőtlen, hogy az áttekintett eljárások némelyike sem függetleníthető még a fosszilis energiahordozók felhasználásától.

Kedvezőek a tapasztalatok a tisztább égést biztosító szintetikus üzemanyagokkal, mivel használatukkal csökkenthető a hagyományos tüzelőanyagok felhasználása.

A kriogén gázok szintén egy lehetséges alternatív megoldást kínálnak a folyamatosan csökkenő mennyiségű, egyre dráguló hagyományos üzemanyagok kiváltására, de bevezetésükhöz nem csak a légijármű üzemanyagrendszerét, hanem a földi kiszolgálás infrastruktúráját is át kell alakítani.

A hibrid meghajtás időleges, kompromisszumos megoldásnak tekinthető, amely nem csak a légi közlekedésben, hanem a szárazföldiben is egyre nagyobb teret hódít. De ebben a meghajtási módozatban még mindig jelen van a kerozin vagy a repülőbenzin, így nem is tekinthető teljesen környezetkímélő megoldásnak.

A napelemmel előállított energia a legtisztább, leginkább környezetkímélő. Használata nem terjedt el még a repülésben, pedig már régóta kutatják. Jelenleg még több megoldásra váró probléma létezik: a napelemek töltési idejének és az általuk töltött akkumulátorok energiatárolási kapacitása nem éri el azt a szintet, amivel egy utasszállító repülőgép gazdaságos, hatékony közlekedése megvalósítható. Figyelemre méltó azonban, hogy kiegészítő energiaforrásként, rásegítőként az áramellátásban jól használható (pl. az utastér világítás, stb.).

Az üzemanyagcella megbízhatóbb, kisebb mérete miatt (ez a szerkezeti tömegnél fontos!), felhasználói szinten kedvezőbb megítélés alá esik, mint az akkumulátor. Például a hidrogénnel üzemelő gyártmányok károsanyag helyett vízgőzt bocsátanak ki működésükkor, amely így környezetkímélőnek tekinthető (amennyiben a H₂ előállítása sem környezetszennyező technológiával történik!).

Nagyon nehezen szüntethető meg függésünk a hagyományos üzemanyagoktól, hiszen évszázadok óta ezek használatosak, többek között a repülésben is. Az viszont jól érzékelhető, hogy már létezik számos olyan érdemi változtatás irányába mutató fejlesztés, amely belátható időn belül hatékony megoldást kínálhat a gazdaságosabb és környezetkímélő repülőgép-üzemeltetésre.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Tiris: *Olajcsúcs grafikon*.
https://hu.wikipedia.org/wiki/F%C3%A1jl:Olajcsucs_grafikon.jpg (2015. 11. 20.)
- [2] Békési B.: *A katonai repülőgépek üzemeltetésének, a kiszolgálás korszerűsítésének kérdései*. Budapest: ZMNE, 2006. (PhD értekezés)
- [3] Szilvássy L., Békési B.: Üzemeltethetőség. *Repüléstudományi Közlemények*, I (2001), Konferencia különszám, 115-122.
- [4] Óvári Gy.: Gázok és villamosság, mint lehetséges repülőgép-üzemanyagok I. rész., *Haditechnika*, XLVIII 2 (2014), 5-10.
- [5] *Community Research and Development Information Service.*, July 18., 2014.
http://cordis.europa.eu/result/rcn/59206_en.html (2015. 05. 11.)
- [6] Eurocopter An Eads Company: *Turbomeca Arrius 2F motor*.
www.eurocopter.ir/site/en/ref/Technology_58-271.html?noeu_id=58&page_id=271&lang=EN (2015. 05. 27.)
- [7] *Airbus Helicopters*. http://www.airbushelicopters.com/website/en/ref/Innovation-&Environment_97.html (2015. 05. 06.)
- [8] A szintetikus üzemanyagok. *Haditechnikai Kerekasztal*, 2010. 01. 07.
<http://htka.hu/2010/01/07/a-szintetikus-uzemanyagok/> (2015. 10. 20.)
- [9] Nem drágább a bio repülés, mégse használják. *Piac & Profit*, 2015. június 12.
<http://www.piacprofit.hu/klimablog/nem-dragabb-a-bio-repules-megse-hasznaljak/> (2015. június 15.)
- [10] Keith, R.: *Engineers test bio-fuel in helicopters*. The official homepage of the United States Army, October 16., 2014.
www.army.mil/article/136334/Engineers_test_bio_fuel_in_helicopters/ (2015. 10. 02.)
- [11] The official homepage of the United States Army: *Black Hawk helikopter*.
www.army.mil/article/136334/Engineers_test_bio_fuel_in_helicopters/ (2015. 10. 30.)
- [12] J. Lane: United Airlines invests \$30M in Fulcrum BioEnergy; inks \$1,5B+ in aviation biofuel contracts. *BiofuelsDigest*, June 30, 2015

- <http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2015/06/30/united-airlines-invests-30m-in-fulcrum-bioenergy-inks-1-5b-in-aviation-biofuels-contracts/> (2016. 02. 03.)
- [13] Sierra Biofuel. *Biofuelsdigest*, http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/wp-content/uploads/2013/07/Fulcrum-SierraRenderingCropped_000.jpg (2016. 02. 03.)
- [14] *Carbon Engineering honlapja* <http://carbonengineering.com/about-ce/> (2016. 02. 04.)
- [15] Courtesy of Carbon Engineering: Carbon Engineering is developing a technology, shown in this rendering, in which a water-based solution absorbs CO₂ from air that is passed through devices known as air contactors. *environment 360*
http://e360.yale.edu/slideshow/rethinking_carbon_dioxide_from_pollutant_to_asset/70/1/ (2016. 02. 04.)
- [16] Óvári Gy.: Gázok és villamosság, mint lehetséges repülőgép-üzemanyagok II. rész., *Haditechnika*, XLVIII 3 (2014), 5-10.
- [17] Óvári Gy.: Gázok és villamosság, mint lehetséges repülőgép-üzemanyagok III. rész., *Haditechnika*, XLVIII 4 (2014), 2-6.
- [18] Óvári Gy.: Gázok és villamosság, mint lehetséges repülőgép-üzemanyagok II. rész., *Haditechnika*, XLVIII 3 (2014), 5-10.
- [19] A. Wilson: *Stemme S.6 'D-KAIR'*.
[https://en.wikipedia.org/wiki/Stemme_S6#/media/File:Stemme_S.6_D-KAIR_\(9226266116\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Stemme_S6#/media/File:Stemme_S.6_D-KAIR_(9226266116).jpg) (2015. 10. 30.)
- [20] Hibrid repülőgépmotor. *Energiacentrum*, 2012. május 30.
www.energiacentrum.com/hibrid-hajtas/hibrid-repulogetmotor/ (2015. június 29.)
- [21] Szabó M. I.: Pár év, és hangtalanul szállnak a repülők. *HVG*, 2015. június 10.
http://hvg.hu/kkv/20150610_Miert_akarna_barki_massal_repulni, (2015. szeptember 17.)
- [22] *Nasa Dryden Past Project: Helios Prototype Solar-Powered Aircraft*. NASA, november 03., 2009 www.nasa.gov/centers/dryden/history/pastprojects/Helios/#.VhYazuztmko (2015. június 2.)
- [23] *Solar Impulse 2 és Boeing 747 szárnyfeszítávolsága*.
<http://i2.wp.com/www.showmetech.com.br/wp-content/uploads/2015/03/solar-impulse-x-boeing.jpg> (2015. 02. 19.)
- [24] *Solar Impulse Exploration to change the world*. <http://www.solarimpulse.com/> (2014. 12. 10.)
- [25] Stahlkocher: *Lange Flugzeugbau Antares 20E*.
https://en.wikipedia.org/wiki/Lange_Aviation#/media/File:Lange_Flugzeugbau_Antares_20E.jpg (2015. 10. 30.)
- [26] *Lange Aviation GmbH*. <http://www.lange-aviation.com/htm/english/news/news.html> (2015. 05. 06.)
- [27] M. Klesius: How Things Work: Flying Fuel Cells., *Air & Space*, February 2009.
www.airspacemag.com/flight-today/how-things-work-flying-fuel-cells-47181830/?all (2015. szeptember 24.)
- [28] *Airbus Group honlapja* <http://www.airbusgroup.com/int/en/innovation-citizenship/airbus-e-fan-the-future-of-electric-aircraft/Cross-channel-flight.html> (2016. 02. 03.)
- [29] *Airbus Group honlapja* <http://www.airbusgroup.com/int/en/innovation-citizenship/airbus-e-fan-the-future-of-electric-aircraft/e-aircraft-roadmap.html> (2016. 02. 02.)
- [30] *WheelTug Driving Aerospace*. <http://www.wheeltug.gi/index.php> (2015. 02. 03.)
- [31] Aeroweb-fr.net: *WheelTug*. <http://www.aeroweb-fr.net/actualites/2013/06/bourget-2013-wheeltug-fanfaronne> (2015. 11. 20.)
- [32] *EGTS*. <http://www.greentaxiing.com/index.html> (2015. 02. 03.)

- [33] *Mototok Easy Moving*. <http://www.mototok.com/> (2015. 02. 03.)
- [34] *Mototok Easy moving: Mototok*. <http://www.mototok.com/about-mototok.php> (2015. 11. 20.)
- [35] *TaxiBot*. <http://www.taxibot-international.com/> (2015. 02. 03.)
- [36] *TaxiBot: TaxiBot*. <http://www.taxibot-international.com/> (2015. 11. 20.)
- [37] Kavas László dr., Óvári Gyula dr., Rozovicsné Fehér Krisztina: A gazdaságos és környezetkímélő repülés feltételei megteremtésének lehetőségei a repülőtereken REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK 2015/1 p. 7-17. url: http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2015_1/2015-1-01-0216-Kavas_L-Ovari_Gy-Rne_Feher_K.pdf