

# **Doktori (PhD) értekezés tervezet**

Fehér Krisztina  
-2023-

**NEMZETI KÖZSZOLGÁLATI EGYETEM**  
**Katonai Műszaki Doktori Iskola**



Fehér Krisztina

**A katonai légi járművek üzemeltetési hatékonyságának,  
gazdaságosságának javítási lehetőségei az üzemeltetés  
eszközeinek, eljárásainak korszerűsítésével, valamint alternatív  
energiaforrások alkalmazásával**

Doktori (PhD) értekezés tervezet

**Témavezető:**

  
Prof. Dr. Óvári Gyula, CSs.

**Budapest, 2023**

## TARTALOMJEGYZÉK

BEVEZETÉS .....	5
A TÉMAVÁLASZTÁS AKTUALITÁSA, INDOKLÁSA .....	5
A TUDOMÁNYOS PROBLÉMA MEGFOGALMAZÁSA .....	13
KUTATÁSI CÉLKITŰZÉSEK.....	19
KUTATÁSI HIPOTÉZISEK MEGFOGALMAZÁSA.....	19
KUTATÁSI MÓDSZEREK.....	20
RELEVÁNS SZAKIRODALMAK ÁTTEKINTÉSE.....	20
I. ALTERNATÍV TÜZELŐANYAGOK ÉS MEGHAJTÁSOK .....	23
I. 1. BIO- ÉS SZINTETIKUS TÜZELŐANYAGOK ALKALMAZÁSA A LÉGIJÁRMŰVEKBEN .....	23
I. 1. 1. A BIO- ÉS A SZINTETIKUS TÜZELŐANYAGOK FAJTÁI.....	23
I. 1. 2. A BIO- ÉS A SZINTETIKUS TÜZELŐANYAGOK ELŐÁLLÍTÁSA.....	30
I. 1. 3. A BIO- ÉS A SZINTETIKUS TÜZELŐANYAGOK FŐBB GYÁRTÓI.....	33
I. 1. 4. A BIO- ÉS A SZINTETIKUS TÜZELŐANYAGOK ALKALMAZÁSA.....	37
I. 2. FENNTARTHATÓ REPÜLŐGÉP TÜZELŐANYAGOK .....	40
I. 2. 1. A FENNTARTHATÓ REPÜLŐGÉP TÜZELŐANYAGOK FAJTÁI .....	43
I. 2. 2. A FENNTARTHATÓ REPÜLŐGÉP TÜZELŐANYAGOK FŐBB GYÁRTÓI .....	47
I. 2. 3. A FENNTARTHATÓ REPÜLŐGÉP TÜZELŐANYAGOK ALKALMAZÁSA.....	51
I. 3. ELEKTROMOS MEGHAJTÁSÚ LÉGIJÁRMŰVEK .....	55
I. 3. 1. HIBRID MEGHAJTÁS.....	55
I. 3. 2. NAPELEMES REPÜLŐGÉPEK .....	58
I. 3. 3. ÜZEMANYAGCELLÁVAL ELLÁTOTT REPÜLŐGÉPEK .....	62
I. 3. 4. AKKUMULÁTOROS MEGHAJTÁSÚ LÉGIJÁRMŰVEK .....	73
I. 3. 5. AKKUMULÁTOROK ENERGIATÁROLÁS PROBLÉMÁI.....	81
I. 4. HIDROGÉN MEGHAJTÁS .....	84
I. 4. 1. HIDROGÉN, MINT TÜZELŐANYAG .....	84
I. 4. 2. HIDROGÉN ELŐÁLLÍTÁSA .....	87
I. 4. 3. HIDROGÉN MEGHAJTÁSÚ REPÜLŐGÉPEK .....	91
II. KÖRNYEZETVÉDELME A REPÜLŐTEREKEN .....	97
II. 1. MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK .....	97
II. 1. 1. MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK BEMUTATÁSA .....	97
II. 1. 2. MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI MAGYARORSZÁGON .....	101
II. 2. LÉGIJÁRMŰVEK REPÜLŐTÉREN TÖRTÉNŐ MOZGATÁSA .....	105
II. 3. KÖRNYEZETBARÁT REPÜLŐTEREK.....	108
III. A REPÜLŐTEREK GAZDASÁGOSABB ÜZEMELTETÉSÉNEK LEHETŐSÉGEI .	117

III. 1. AZ ÉPÜLETEK HŐSZIGETELÉSÉNEK FONTOSSÁGA .....	120
III. 2. FÉNYFORRÁSOK KORSZERŰSÍTÉSE .....	123
III. 3. ÉPÜLETGÉPÉSZETI ÉS ELEKTROMOS KORSZERŰSÍTÉSI LEHETŐSÉGEK A REPÜLŐTEREKEN .....	125
IV. ELEMZÉSEK, SZÁMÍTÁSOK.....	129
IV. 1. GAZDASÁGOSSÁGI LEHETŐSÉGEK ELEMZÉSE.....	129
IV. 2. KARBONLÁBNYOM SZÁMÍTÁS .....	134
IV. 3. A MAGYAR LÉGIERŐ LÉGIJÁRMŰVEINEK KÁROSANYAG KIBOCSÁTÁS CSÖKKENTÉSÉNEK ELEMZÉSE .....	139
ÖSSZEGZETT KÖVETKEZTETÉSEK .....	144
ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK .....	147
A TÉMAKÖRBEN KÉSZÜLT PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE .....	148
FOGALMAK ÉS RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE .....	151
IRODALOMJEGYZÉK.....	153
ÁBRÁK JEGYZÉKE .....	174
TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE .....	178
MELLÉKLETEK .....	179

# BEVEZETÉS

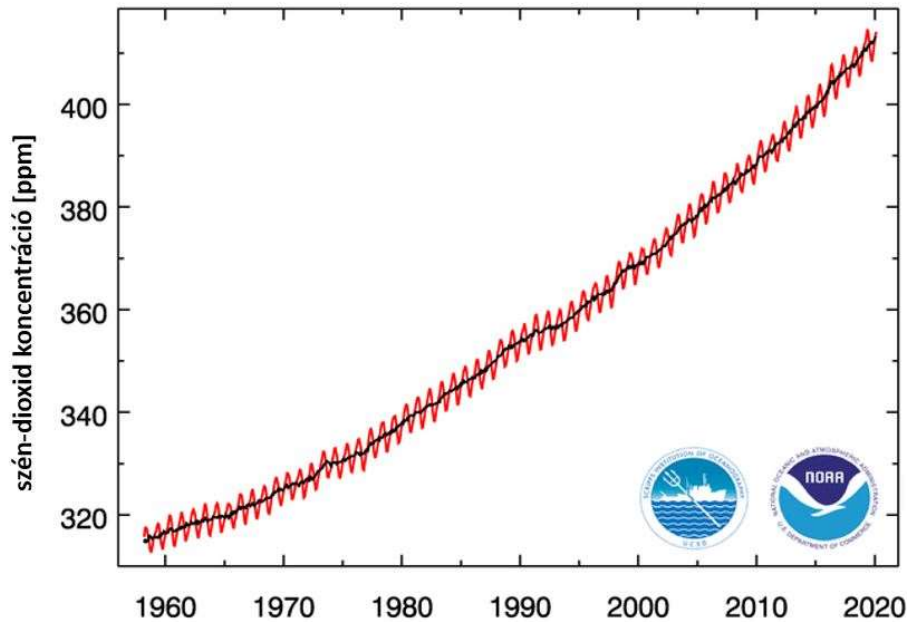
## A TÉMAVÁLASZTÁS AKTUALITÁSA, INDOKLÁSA

Környezetszennyezésről, klímaváltozásról, üvegházhatást okozó, fokozó gázokról évekkel ezelőtt még döntően csak a tudósok, kutatók beszéltek, a hétköznapi ember tudomást sem vett róla. Napjainkra már érzékelhetők, kézzel foghatók ezek a fogalmak mindennapi életünkre gyakorolt kedvezőtlen hatásaik által. Változik az időjárás, emiatt a mezőgazdaság és az élővilág is átalakul, ami az emberek életét is befolyásolja. Többször lehet hallani, hogy nem esik elég csapadék vagy ha igen, akkor tetemes mennyiségben, forróbbak a nyarak, fagyosabbak a telek, eltűnnek évszakok, szélsőséges időjárási állapotok kezdenek uralkodni. Nem csak a természet, hanem az emberek is próbálnak alkalmazkodni ehhez a megváltozott helyzethez, amely lassan állandósulni látszik. Ennek hatására az éghajlati övek határai fokozatosan eltolódnak az északi és a déli pólusok irányába, amellyel együtt invazív állati és növényi fajok jelennek meg. Erre jó példa Magyarországon a fecskék helyzete. A Magyar Madártani Egyesület szerint, jelenleg hazánkból körülbelül egymillió fecske hiányzik, melyért negyed részben a klímaváltozás tehető felelőssé [1]. A szúnyogok ezért is elszaporodhatnak, köztük olyan trópusi fajok is, melyek Magyarországon eddig nem jelenlévő betegségeket terjesztenek. Ebből is jól látható, hogy a klímaváltozás az egész bioszférára hatással van.

Az éghajlatváltozásért elsődlegesen az üvegházhatású gázok okolhatók, melyek közül a legjelentősebbek a szén-dioxid, a metán, az ózon, a dinitrogén-oxid, illetve a vízgőz. A figyelem ezek közül főként az elsőre irányul, hiszen ebből jut a legtöbb az emberi tevékenység következményeként környezetünkbe. A légkörbe a CO<sub>2</sub> nem csak az emberi közreműködéssel kerül, hanem a természeti jelenségek által is (pl. vulkánkitörés), de az előbbi jóval nagyobb befolyásoló tényező, hiszen növekvő mennyisége miatt a levegőben a Föld átlaghőmérséklete növekszik. Ez a jelenség pedig láncreakciót indít el a bioszférában: az időjárás szélsőségesebb lesz, a megolvadt gleccserek, jéghegyek miatt emelkedik az óceán szintje, a légkör szennyezettsége növekszik, az édesvíz és ezzel együtt az ivóvíz minősége és mennyisége csökken. Ehhez kapcsolódóan növekszik a légszennyezettség és a hőség miatti halálozás, honos állatfajták pusztulnak ki, ismeretlen betegségek jelennek meg egy adott régióban, politikai konfliktusok robbannak ki, és tömeges népvándorlások indulnak el.

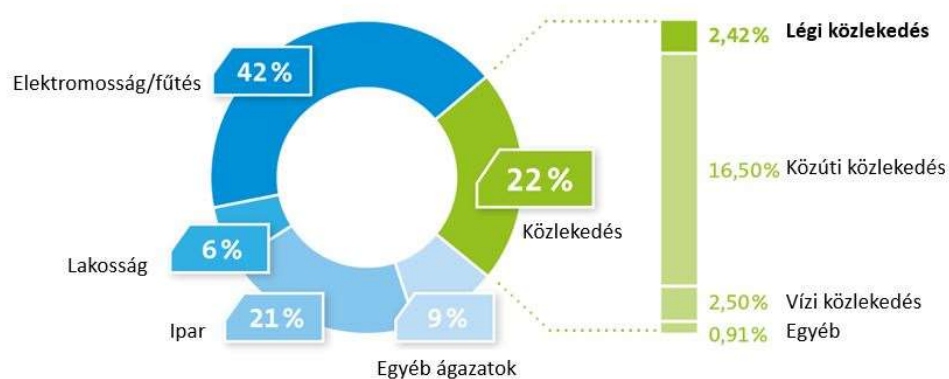
Az 1. ábra a szén-dioxid mennyiségét (ppm) ábrázolja a légkörben a Mauna Loa Obszervatórium mérései által, melyen jól látható, hogy fokozatosan emelkedik, sőt tartósan át

is lépte a 400 ppm<sup>1</sup>-es határt 2013 májusában (megj.: 350 ppm a biztonságos mennyiség ebből az anyagból, 450 ppm-nél visszafordíthatatlan károk keletkeznek bolygónk klímájában), amely a kutatók szerint mérőföldkőnek számít a globális felmelegedésben. 2019 májusában elérte eddigi csúcspontját a szén-dioxid mennyisége 414,7 ppm-mel.



1. ábra Szén-dioxid koncentráció növekedése a légkörben [2]

A legtöbb szén-dioxid a fosszilis energiahordozók elégetésével kerül a légkörbe, melyet az energiaszektor, a közlekedés, az ipar, a lakosság együttes kibocsátásának következménye (2. ábra).



2. ábra CO<sub>2</sub> kibocsátás mértéke fosszilis üzemanyagok elégetése során (2011-es adat) [3]

Ezek közül munkám témája szempontjából a légi közlekedést emelem ki, amely 2011-es adatok szerint 2,42 %-kal részesedik a teljes szén-dioxid kibocsátásból. Mivel ezt az utazási,

<sup>1</sup> part per million (ppm) – Az egész rész egy milliomoda.

illetve szállítványozási formát egyre többen választják, nő a légiforgalom, ezzel együtt az utasok száma is, amit az alábbi néhány adat is igazol:

- A Repülőterek Nemzetközi Tanácsa szerint 2018-ban 6,1%-kal növekedett az utasforgalom Európa repülőterein (2,34 milliárd fő), mint az előző évben [4].
- Nemzetközi Légi Szállítási Szövetség (International Air Transport Association – IATA) szerint előreláthatólag az utasforgalom 3,5%-kal emelkedhet évente [5].

Szakmai prognózisok szerint nem érte még el csúcspontját a légiközlekedés és az általa okozott légszennyezés. Bár valamennyi közlekedési ágazat energiateljesítménye nő, de mivel ezen belül a közúti, vasúti, vízi szállításban intenzíven emelkedik az alternatív (pl. elektromos) energia alkalmazásának részesedése így csökken a károsanyag emissziója, várhatóan a légiközlekedés által okozott CO<sub>2</sub> kibocsátás aránya elérheti az 5%-ot, de akár a 10 vagy 20%-ot is (vö. 2. ábra!) [6]. További kedvezőtlen hatás, hogy a repülőgépek károsanyag kibocsátása utazó-magasságukon (8-10 km-en) történik, ahol nincs minek elnyelnie, sőt a légköri viszonyok miatt akár évekig ott maradnak és akkumulálódnak.

Az EASA<sup>2</sup> a 2019-es Európai Repülési Környezetvédelmi Jelentésében 2017-es adatokat hozott nyilvánosságra az EU-ra és az EFTA<sup>3</sup>-ra vonatkozóan, melyek szerint:

- kereskedelmi járatokon 1643 milliárd kilométert tettek meg az utasok (2014-hez képest 20%-os növekedés);
- 2014 és 2017 között 8%-kal növekedett a repülések száma (előrejelzésük szerint 2017 és 2040 között 42%-kal fog emelkedni);
- az összesített CO<sub>2</sub> kibocsátás 163 millió tonna (10%-os emelkedés a 2014-es szinthez képest), NO<sub>x</sub> emisszió 839 ezer tonna (12%-os növekedés 2014-hez képest). [7]

Az EASA prognózisa szerint azoknak a repülőterek száma, melyek évente 50.000-nél több repülőgép befogadására alkalmasak, előreláthatólag a jelenlegi (2017) 82-ről 100-ra fog emelkedni 2040-re. [7]

A vizsgált paraméterek közül azonban kettő is csökkenést mutatott:

- járatonkénti általános zajenergia értéke  $1,24 \cdot 10^9$  J (2014-hez képest 1%-os, 2005-höz képest 14%-os csökkenés);

---

<sup>2</sup> European Union Aviation Safety Agency – Európai Unió Repülésbiztonsági Ügynöksége

<sup>3</sup> European Free Trade Association – Európai Szabadkereskedelmi Társulás

- a kereskedelmi repülések általános tüzelőanyag fogyasztása 3,4 l/100 km (2014-hez képest 8%-kal, míg 2005-höz képest 24%-kal alacsonyabb). [7]

Az utóbbi két adat értékének visszaesése is jól mutatja, hogy a légitársaság-, illetve a hajtóműgyártó vállalatok is fejlesztéseik során – a kormányzati, hazai és nemzetközi légügyi előírásoknak megfelelően – törekedtek a zaj- és a károsanyag kibocsátását elvárt mérséklésére.

A környezetvédelemnek nem elhanyagolható területe a zajterhelés csökkentése. Bár a kutatásaimat erre nem terjesztettem ki, de fontosnak tartom megemlíteni. A repülőterek növekvő forgalma emeli a zajszennyezés szintjét, amely negatívan befolyásolja a körülötte fekvő területeken élő emberek életét. A légitársaságok által keltett zajok kis rendszerességgel, bizonyos időszakokban (pl. nappal) befolyásolják a komfortérzetet, kellemetlenek lehetnek. Ugyanakkor akár egészségkárosító hatásuk is lehet, ha hosszú időn keresztül, éjszaka is hallja az ember, amely maga után vonja a nem megfelelő minőségű alvást, pihenést. Ennek eredményeként fejfájás, fáradékonyság, ingerültség léphet fel, károsan hat a vegetatív idegrendszerre. A zajterhelés csökkentésére nem csak a repülőgépek gyártói törekednek, hanem a repülőterek is (pl. zajgátló védőövezetek kialakítása). Ezekhez szükséges megvizsgálni a környezeti kockázatokat, és értékelni a környezethasználatokat megfelelő és kellő pontosságú adatok felhasználásával. [8] [9]

A Nemzetközi Légi Szállítási Szervezet (International Air Transport Association – IATA) 2009-ben bejelentette egy ún. szén semleges növekedési célt 2020-tól, mely szerint a CO<sub>2</sub> kibocsátást 2050-re a 2005-ös szint felére kell csökkenteni. Az Amerikai Egyesült Államokban a Szövetségi Légi Irányítása (Federal Aviation Administration – FAA) hasonlóan szén semleges növekedést irányzott elő, melyben nem csak a szén-dioxid kibocsátás mennyiségét szabályozzák, hanem az összes károsanyagét. Emellett a Nemzetközi Polgári Légiközlekedési Szervezet (International Civil Aviation Organization – ICAO) erre vonatkozóan szabványokat kezdett el kidolgozni új légitársaság típusokra, továbbá szeretne bevezetni egy globális, piaci alapú CO<sub>2</sub> adót. [10]

Az Európai Bizottság 2000-ben egy úgynevezett zöld könyvet adott ki, amely már tartalmazott célokat, javaslatokat az EU Kibocsátás Kereskedelmi Rendszerére (Emission Trading System – ETS) vonatkozóan, így segítséget nyújtott e rendszer kidolgozására. A rá vonatkozó irányelveket 2003-ban fogadták el, és 2005-ben vezették be ezt. Benne minden nemzetre külön-külön meghatározták az emisszió felső értékét a Nemzeti Kiosztási Terv (National Allocation Plan – NAP) alapján. A különböző létesítmények által megtermelt üvegházhatást okozó gázok mennyiségére egy felső korlátot határoznak meg, melyet bizonyos



idő elteltével csökkentenek. Ha nem éri el ezt a szintet, akkor a különbözetből emissziós egységet kaphatnak vagy vásárolhatnak a vállalatok, de minden évben ezekkel le kell fednie az emissziójukat. Ha nem sikerül, akkor bírságot kapnak. Ezekkel az egységekkel kereskedhetnek is, hiszen központilag korlátozzák mennyiségüket, úgy, hogy összegük megmaradjon. A vállalatok akár nemzetközi hitelek is vehetnek fel a világ különböző kibocsátás csökkentési projektjeiből. Az ETS-t négy szakaszra bontották fel, és jelenleg az utolsóban, a negyedikben (2021-2030) jár. Kibocsátási egységeket nagyrészt az EU szén-dioxid piacán (Carbon Market) szerezhetnek be a tagok. Kismértékben ugyan, de elérhetőek még mindig ingyenesen is, de ezt a mennyiséget arányosan osztják el. 300 millió kibocsátási egységet különítettek el a megújuló energiaforrásokra támaszkodó technológiák bevezetésére, továbbá a szén-dioxid leválasztására és tárolására irányuló, megvalósuló fejlesztésekre a NER (New Entrants Reserve – Új Belépők Tartaléka) 300 program keretein belül. Nagy változás az előző szakaszhoz képest, hogy az abban érvényben lévő nemzeti kibocsátási felső határérték egységesítve lett az Európai Unión belül. Bővítették az eddig megfigyelt gázok körét. 2020-ra a 2005-ös adatokhoz képest az ETS-nek köszönhetően az érintett ágazatokban 21%-kal csökkent a szén-dioxid kibocsátás. 2030-ra ennek az értéknek 43%-ot kell elérje. [11][12]

Az Európai Unió 2050-re tervezi, hogy karbonsemlegessé válik, melyhez a különböző erőforrások hatékonyságának növelése, megújuló formákra történő áttérés és ezzel egyidejűleg a szennyezések csökkentése tartozik. E törekvések eléréséhez célokat fogalmaztak meg több iparág segítségére: energiaágazat szén-dioxid mentesítése, környezetbarát technológiákba történő befektetés, épületek energiahatékonyságának növelése, innovációk támogatása, magán- és tömegközlekedés környezetbarátabb, olcsóbb, emberi egészségre kevésbé ártalmas formáinak bevezetése, nemzetközi partnerekkel együttműködés kiépítése a környezetvédelem előmozdításának érdekében. Ehhez kapcsolódik az Európai Zöld Megállapodás (European Green Deal – EGD), melyet 2019. december 11-én mutattak be. A stratégia fő célja, hogy az Európai Unió gazdaságát fenntarthatóvá alakítsa át. A legfontosabb szempont az éghajlat védelme, amelyet a karbonsemlegességre való törekvéssel lehet elérni. Ez érinti a gazdaság több területét is:

- energia: Az energiaágazat szénmentesítése (az energiatermelés és felhasználás az EU üvegházhatású gázok kibocsátásának több mint 75%-káért felelős.);
- épületek: Épületek felújítása, amely maga után vonja, hogy csökken bennük az energiafelhasználás és a hozzájuk kapcsolódó költségek is. (Energiafogyasztásunk 40%-át ez teszi ki.);

- ipar: Ennek a szektornak a támogatása a különböző innovációkban és a világelsőségük elérésében a 'zöld' gazdaság terén. (Az európai iparban csak 12%-ban alkalmaznak újrahasznosított anyagokat.);
- mobilitás: A tisztább, olcsóbb, egészségesebb megoldások bevezetése a magán- és a tömegközlekedésben egyaránt. (A közlekedés az EU szén-dioxid kibocsátás 22%-át teszi ki. [13])

Jelenleg az EU szén-dioxid kibocsátásának közel a negyedéért a közlekedés a felelős, amelynek mértéke folyamatosan növekszik, ezért az EGD-ben a cél erre a szektorra vonatkozóan az, hogy 2050-ig 90%-kal csökkentsék ennek az ágának az emisszióját. A közutakon különböző megoldásokat vezetnének be, mint például az automatizált közlekedés és az intelligens forgalomirányítás a hatékonyabb és tisztább működés eléréseért. Az előrejelzések szerint Európában 2025-re 13 millió darab alacsony vagy nulla károsanyagkibocsátású gépjármű fog közlekedni az utakon, melyeket közel egy millió töltő- és üzemanyag-töltő állomással kell kiszolgálni (jelenleg 975 000 gépjárműre jut 140 000 állomás). Megemelnék a vasúton és vízen történő szállítás mértékét, és a légiközlekedésbe bevezetik az Egységes Európai Égboltot (Single European Sky<sup>4</sup>), amellyel többek között a repülőgépek károsanyag kibocsátását akár 10%-kal is lehet csökkenteni. Gazdasági intézkedéseket is tervez bevezetni az EU, mint például a ténylegesen megtett km-ek utáni útdíj fizetés, a fosszilis eredetű tüzelőanyagok támogatásának megvonása, kibocsátás kereskedelmének kiterjesztése a vízi közlekedésre, ingyenes kibocsátási egységek csökkentése a légiközlekedési ágazatban. [14]

2001-ben létrehozták Európai Légügyi Kutatói Tanácsadói Testületet (Advisory Council for Aeronautics Research in Europe – ACARE), melyben több szakterületről (gyártás, kutatás, fejlesztés) származó szakember van jelen. Két tervezetük volt 2020-ra, illetve 2050-re előre vetítve. Mindkettőben szerepeltek a repülés minőségére, biztonságára, megfizethetőségére, légijárművek gyártására, környezeti hatásokra vonatkozó javaslatok. A Flightpath 2050 című dokumentumban környezetvédelmi oldalról olyan célokat határoztak meg, mint a nitrogén-oxidok kibocsátásának 90%-kal, zajkibocsátás 65%-kal, illetve CO<sub>2</sub> kibocsátást 75%-kal (a fizető utasok által megtett kilométerek függvényében) történő csökkentését. Továbbá megfogalmazza, hogy a nyersolaj függőséget versenyképes, más eredetű tüzelőanyagokkal lehet megszüntetni. [10]

---

<sup>4</sup> „Az európai légiforgalmi irányítási rendszer reformjának célja, hogy választ adjon a légi forgalomban a következő évek során várt nagymértékű növekedés támasztotta kihívásokra. További feladata, hogy növelje a biztonságot, csökkentse a költségeket, a késéseket, valamint a légi közlekedésnek a környezetre gyakorolt hatását.”  
forrás: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/HTML/?uri=LEGISSUM:tr0003&from=EN>

Az Egyesült Államokban a Megújuló Üzemanyag Szabványban (Renewable Fuel Standard – RFS) előírásként megtalálható, hogy a felszín feletti közlekedésben a biomassza alapú üzemanyag mekkora százalékban legyen jelen a felhasználásban. A kukoricából készülő etanol alkalmazásának mennyisége 2015-re elérte a 15 milliárd gallonnyi (~57 milliárd liter) értéket, a további felmerült igényeket pedig szükséges volt pótolni olyan bioüzemanyagokkal, melyek fő tulajdonsága, hogy az üvegházhatású gázok megjelenése életciklusukat tekintve 50-60%-kal kevesebb a hagyományos társaikhoz képest. Nem csak Amerikában, hanem az Európai Unióban is létrehoztak hasonló irányelveket, melyeket a Megújuló Energia Direktíva (Renewable Energy Directive – RED) tartalmazza az alábbiakban: a teljes energiafelhasználás 20%-át megújuló forrásokból kell fedezni 2020-ra, továbbá a közlekedésben alkalmazott energia legalább 10%-a is onnan származzon. Ezek az üzemanyagok feleljenek meg annak az elvnek is, hogy életciklusuk során az üvegházhatású gázok jelenléte kevesebb legyen a kőolaj alapúakéhoz képest: 2010-ben 35%-kal, 2018-ban 60%-kal. Míg a RED az egész közlekedési ágazatra vonatkozik, addig a vezető európai légitársaságok gyártó vállalatok és az európai bioüzemanyag gyártók által létrehozott, és 2011-ben elindított European Advanced Biofuel Flight Path, kifejezetten a repülést célozta meg, és elősegíti a bioüzemanyag termelő gyárak finanszírozását. [10]

Az ICAO egy gazdasági alapú csomagot, intézkedést hozott létre CORSIA<sup>5</sup> néven. Alapját a szervezet 39. közgyűlésén, 2016-ban elfogadott célkitűzések adják, melyek mindegyike (hajtómű, sárkányszerkezet, légiforgalmi irányítás, földi kiszolgálás technológiai fejlesztése, fenntartható forrásból származó tüzelőanyagok alkalmazása) azt a célt szolgálja, hogy 2020 után a nemzetközi légitársaságok a szén-dioxid kibocsátást stabilizálja növekvő légitársaság mellett is. A CORSIA érvényes minden olyan üzemeltetőre, melyek repülőgépeinek a felszálló tömege meghaladja az 5700 kg-ot, illetve éves CO<sub>2</sub> kibocsátása 10 000 t-nál nagyobb. Feladatuk, hogy 2019 és 2020 között dokumentálják szén-dioxid emissziójukat, majd benyújtsák ezt az ICAO-nak, mely átlaga a szén semleges növekedés alapját képezi. 2020 után a csatlakozó államok minden repülőgépéről szén-dioxid kibocsátási jelentés készül. Ez az ICAO-hoz érkezik be az országok hivatalos ellenőrző szervein keresztül, majd megállapítják az ellentételezés nagyságát, amelyet a környezetvédelemmel kapcsolatos tevékenységek (megújuló energiaforrások alkalmazására tett törekvések, erdő telepítése stb.) után úgynevezett „szén-dioxid jegy”-re (Carbon Credit) válthatnak be a repülőgép üzemeltetők. Ezzel a „szén-dioxid piacon” (Carbon Market) megjelenhetnek, kereskedhetnek velük. Szén-dioxid semleges

---

<sup>5</sup> Carbon Offsetting and Reduction Scheme of International Aviation – Nemzetközi Légitársaságok Szén-dioxid Ellentételezési és Csökkentési Tervezete

növekedés akkor valósulhat meg, ha ezekkel a Carbon Creditekkel a 2020-ban megállapított átlag feletti részt le tudják fedni. Az intézkedés orvosi, tűzoltási és humanitárius célt szolgáló repüléseket nem érinti. Magyarország a CORSIA-ba önként jelentkező országok közé tartozik, csatlakozása 2021-ben történt meg. A COVID-19 hatása begyűrűzött a kereskedelmi repülésbe is. A járatok száma drasztikusan csökkent, ezzel együtt a repülőgépek szén-dioxid kibocsátása is. A 2021-es évre vonatkozó kompenzációkat a 2019-es és 20-as évek átlaga adja, mely a pandémia hatására visszaesett járatszámok miatt torz értéket ad. A légitforgalom a járvány enyhülésével újra növekedni kezdett, így a légitársaságoknak nagyobb hozzájárulást szükséges megfizetniük. A IATA arra kérte az ICAO-t, hogy csak a 2019-es év kibocsátásait vegye alapul, a 2020-as évet hagyja figyelmen kívül, mert túl nagy terhet róna a kereskedelmi repülésre. [15][16]

Az Európai Unióban az éghajlatváltozással kapcsolatos első intézkedéseket 2008-ban fogadták el. A „20-20-20” célkitűzésnek három irányvonala van 2020-ig terjedően: 20%-os csökkentése az üvegházhatású gázok kibocsátásának, a megújuló energiák részesedésének 20%-ra történő növelése, energiahatékonyság 20%-kal való emelése. Ezt a megállapodást a későbbiekben „Éghajlat- és energiapolitikai keret a 2020–2030-as időszakra – COM (2014) 0015”-tel egészítették ki 2020-tól 2030-ig terjedő időszakra. A tervezetet 2015. március 6-án hivatalosan is jóváhagyták. Célkitűzések között szerepel az üvegházhatást okozó gázok 40%-os csökkentése 1990-hez képest, 27%-os arányú részesedése legyen a megújuló energiaforrásoknak a felhasználások terén, az energiahatékonyság 27%-kal történő fokozása, az EU-n belüli villamosenergia hálózatok összekapcsolása. Az Európai Unió 28 tagállamával támogatója az ENSZ Éghajlat-változási Keretegyezményének, a Kiotói Jegyzőkönyvnek és a Párizsi Megállapodásnak. [17]

2015. december 12-én több állam hozta létre a Párizsi Megállapodást (2016. november 4-én lépett hatályba), mely a globális éghajlatváltozással, annak ellensúlyozásával foglalkozik. 2020-tól lépett életbe, fő célkitűzése, hogy a Föld globális éves átlaghőmérsékletének növekedését 2 °C alatt tartsák, de ha lehet, akkor 1,5 °C felé ne emelkedjen. Az aláíró országoknak szén-dioxid kibocsátás csökkenésével kapcsolatban klímapolitikai tervezetet kellett betervezniük, ötévente kötelezően közzé teszik vállalásaikat, továbbá hozzájárulnak a fejlődő országok éghajlatváltozás mérséklésével kapcsolatos beruházásainak finanszírozásához. [17]

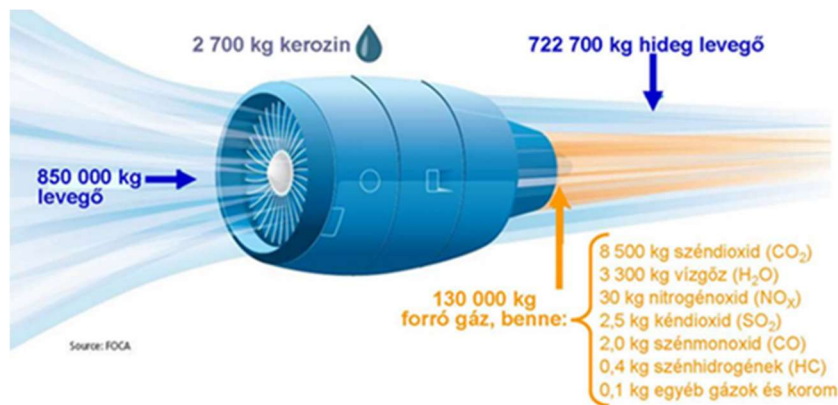
2003-ban fogadta el (2011-ben tette közzé) a NATO Katonai bizottsága a MC469 a szervezet katonai elveiről és környezetvédelmi politikáiról szóló dokumentumot. Ebben

elismeri, hogy fontos a környezet védelme, továbbá megfogalmazza benne, a katonai szövetségnek minden katonai tevékenységénél szem előtt kell tartania a környezetvédelmet, és ezzel párhuzamosan a természetre a legkisebb behatással szükséges lenni. Az MC469-et az évek során több különböző kiegészítéssel is bővítették, melyek fő témája szintén a környezetvédelem: NATO Környezetvédelmi Szabványügyi Egyezményvel és a Szövetséges Közös Környezetvédelmi Kiadványokkal. Ezek közé tartoznak a NATO által vezetett katonai tevékenységek során a környezetvédelem közös NATO doktrínája (STANAG 7141), a Környezetvédelmi bevált gyakorlatok és szabványok a katonai táborok számára a NATO által vezetett katonai tevékenységekben (STANAG 2581) és a katonai kiképzési területek fenntarthatóságának legjobb környezetvédelmi gyakorlatai (STANAG 2594). A NATO jelenlegi főtitkára, Jens Stoltenberg szerint, a NATO-nak is törekednie kell a különböző tevékenységei során kibocsátott károsanyagok csökkentésére. Az üzemanyag ellátást katonai műveletek során kritikusnak és veszélyesnek nevezte. A NATO különböző projekteket indított Zöld Védelmi keretrendszer (Green Defence framework) belül az üzemanyag felhasználás csökkentésére, továbbá hozzátette, hogy több tagország katonái napelemeket alkalmaznak (Hollandia) elektromos áram termeléséhez különböző generátorok helyett, illetve hidrogén üzemanyagcellákkal (Kanada, Amerikai Egyesült Államok) is kísérleteznek ennek előállítására és akkumulátorokkal a tárolásához. A NATO károsanyag kibocsátás csökkentését nem csak a környezetvédelem miatt tartja szem előtt, hanem biztonság politikai okokból is. [18][19][20]

A fenti törekvésekből, szabályozókból is jól látható, hogy nemzetközi és európai polgári, illetve katonai szervezetek is sürgetőnek találják a légközlekedés által kibocsátott szén-dioxid csökkentését, továbbá segítséget nyújtanak, ajánlásokat tesznek tagjaik részére, hogy könnyebb legyen az átállás.

## **A TUDOMÁNYOS PROBLÉMA MEGFOGALMAZÁSA**

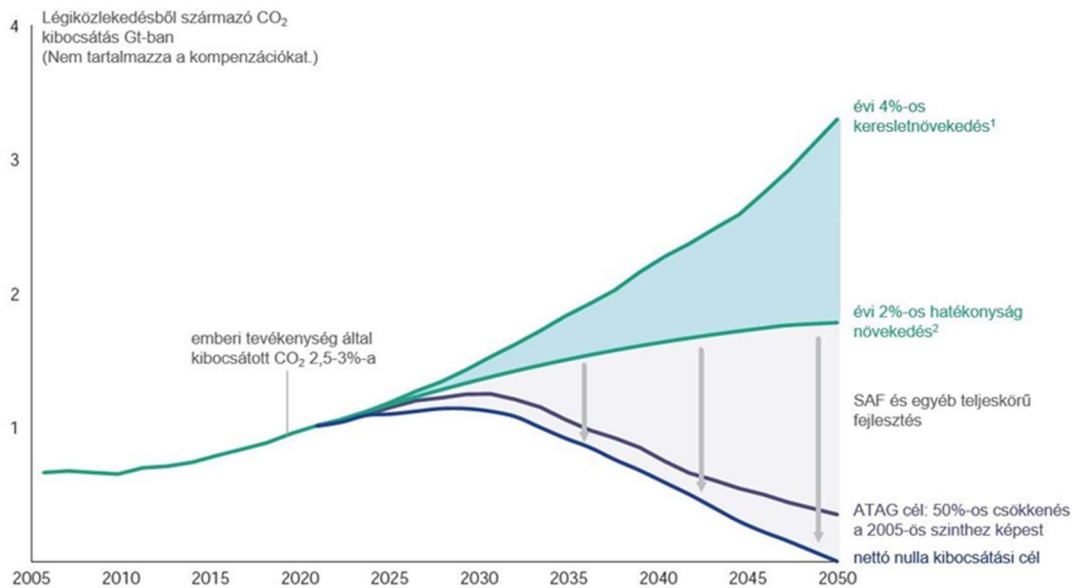
A légkörben lévő üvegházhatást okozó gázok mennyisége növekszik, melyek közül a szén-dioxid szintje kimagaslóan emelkedik, gyarapodását a fosszilis energiahordozók alkalmazása erőteljesen befolyásolja. Ide sorolható a kőszén, a kőolaj és a földgáz is, melyekből kiemelten elektromos áramot, illetve üzem- és tüzelőanyagokat állítanak elő. Mivel emelkedik a légitjáratok száma, ezzel együtt nő a felhasznált tüzelőanyag mennyisége, ezért növekszik a károsanyag kibocsátás is. A 3. ábra bemutatja, hogy a kerozinnal üzemelő gázturbinás hajtóműben történő elégetésekor milyen vegyületek keletkeznek és ezek milyen mennyiségben távoznak belőle.



3. ábra Egy 150 személyes kéthajtóműves utasszállító repülőgép korszerű hajtóművének (pl. B-737, A-320) átlagos üzemanyag és levegőfogyasztása, valamint gázkibocsátásának összetevői 1 óra alatt [FOCA]

A légi járművek nem csak a levegőben töltött időben bocsátanak ki szennyezőanyagokat, hanem a repülést megelőzően a repülőtéren, a futópályára, illetve futópályáról történő gurulás (taxizás), itt forgalmi okokból várakozások közben, valamint a fel- és leszállások idején is. E fázisok alatt a hajtóművek a feltöltött tüzelőanyagnak körülbelül 2-4%-át már el is fogyasztják. Elsőre nem tűnik nagy mennyiségnek, de ha egy nagyforgalmú repülőteret veszünk figyelembe, akkor ez az érték 44 t kerozin felhasználást is elérheti egy nap alatt, melynek károsanyag vonzata is igen jelentős [21].

Földünkön a légi közlekedés jelenleg évente ~900 millió tonna szén-dioxidot bocsát ki a környezetbe, és ez az érték a duplájára is nőhet 2050-re, ha nem jelennek meg új technológiák, amelyekkel ezt erőteljesen mérsékelni lehetne. Erre már vannak törekvések, célok, mint például az Európai Unió Green Deal-je (Európai Zöld Megállapodása), vagy a Légiközlekedési Akciócsoport (Air Transport Action Group – ATAG) vállalása, mely szerint 2050-re felére kívánja csökkenteni a CO<sub>2</sub> emissziót a 2005-ös szinthez képest. Az EU pedig a karbonsemlegességet tűzte ki célul.



1. ATAG, IATA, ICCT, WWF, ENSZ előrejelzéseire alapuló növekedés.
2. ICAO törekvése a légi járművek technológiájának, üzemeltetésének és infrastruktúrájának hatékonyság növelésére.

4. ábra A légitölekedésből származó szén-dioxid kibocsátás előrejelzése [11]

A repülőgépek nem csak a szén-dioxid kibocsátásukkal járulnak hozzá a klímaváltozáshoz, hanem az általuk a levegőbe juttatott további szennyezőanyagokkal is, mint például a korom, a különböző nitrogén-oxid, illetve az üvegházhatású vízgőz is, amely a légkörben kondenzcsíkká, felhőkké alakul át. Ahhoz, hogy az előzőekben jelzett célokat elérjék, a légitölekedésnek, illetve a repülőgép iparnak radikálisan új technológiákat kell bevezetnie, olyan repülőgép tüzelőanyagokat erősen ajánlott nagy arányban alkalmaznia, amelyekkel csökkenthető a károsanyag kibocsátásuk, továbbá jelentős CO<sub>2</sub> ellentételezéseket szükséges vállalnia, mindezeket együttesen alkalmazva. [11]

Polgári és katonai repülést kiszolgáló épületeket (utasforgalmi, légitölekedési irányítás, műszaki karbantartás és tárolás, repülőtéri kiszolgálás stb.) szükséges elektromos árammal ellátni, bennük fűtést, hűtést, használati melegvizet biztosítani, melyek előállításával szintén szén-dioxid kerül a környezetbe. Ahhoz, hogy csökkenteni lehessen ennek az üvegházhatású gáznak a megjelenését, elengedhetetlenül szükséges megújuló energiaforrások bevonása, illetve olyan berendezések használata, melyek energiafogyasztása alacsony. Az Európai Tanács által 2014-ben elfogadott éghajlat- és energiapolitikai keret, melyben az Európai Unió országaira üvegházhatású gázok kibocsátásának 40%-os mérséklését írja elő 2030-ra, az 1990-es évhez viszonyítva [22]. Továbbá a Párizsi Megállapodás fő céljaként az EU-ban 2030-ra a teljes energiafogyasztás 32%-ának megújuló energiaforrásokból kell származnia [23].

A légi járművek üzemeltetésében, kiszolgálásában is törekedni kell a szén-dioxid kibocsátásának redukálására, illetve megszüntetésére.

Repülőgép típusa	Repülőgép leírása	Tüzelőanyag fogyasztás [l/h]
A-10A	két gázturbinás hajtóműves csatarepülőgép	2331
C-130E	négy turbolégcsavaros teherszállító repülőgép	2956
C-5B	négy gázturbinás hajtóműves, nehéz teherszállító repülőgép	13473
F-15D	két hajtóműves vadászipülőgép	5825
F-15E	két hajtóműves vadászbombázó repülőgép	6951
KC-10A	három hajtóműves légiutántöltő repülőgép	10002
JAS-39	egy hajtóműves vadászbombázó repülőgép	8900 (utánégető használatával)
T-37B	két hajtóműves sugárhajtású kiképző repülőgép	694

1. táblázat Néhány katonai repülőgép tüzelőanyag fogyasztása [24]

Az 1. táblázat alapján megállapítható néhány, különböző rendeltetésű, illetve típusú katonai repülőgép óránkénti átlagos tüzelőanyag fogyasztása, mely értékek igen magasak, és számottevő károsanyag-kibocsátást okoznak. Csökkentésükre több lehetőség is adódik:

- olyan hajtóművek alkalmazása, melyek kevesebb tüzelőanyagot használnak fel, illetve tökéletesebb égést biztosítanak;
- alternatív meghajtások és tüzelőanyagok alkalmazása
- indirekt módon, a sárkányszerkezet aerodinamikailag kedvezőbb kialakítása.

Mindhárom terület fejlesztése fontos, de jelenleg a legnagyobb hangsúlyt ezek közül az alternatív tüzelőanyagokra helyezik. Nem csak amiatt, mert alkalmazásukkal kevesebb károsanyag kerül a környezetbe, hanem azért is, mert a fosszilis energiahordozók gazdaságosan kitermelhető mennyisége véges, így beszerezhetősége is folyamatosan csökken Földünkön. Így természetesen emelkedik a kőolaj, a földgáz piaci ára, mely az üzemeltetés költségeinek növekedését is okozza.

Az járművekben használatos üzemanyagok (benzin, kerozin, gázolaj) előállításához használatos nyersanyag, a kőolaj, napjainkban világviszonylatban rendelkezésreálló, ismert és becsült készleteinek területi megoszlását az 5. ábra mutatja. Bár időnként megjelennek újabb, jelentős szárazföldi vagy tengeri lelőhelyek felfedezéséről szóló közlemények is, de ezek többségéről később kiderül, hogy a vártnál jóval kisebb tartalékot rejtnek. (Szaúd-Arábia olaj tartalékai viszont a jelenleg ismertnek akár a kétszeresét is elérhetik!)

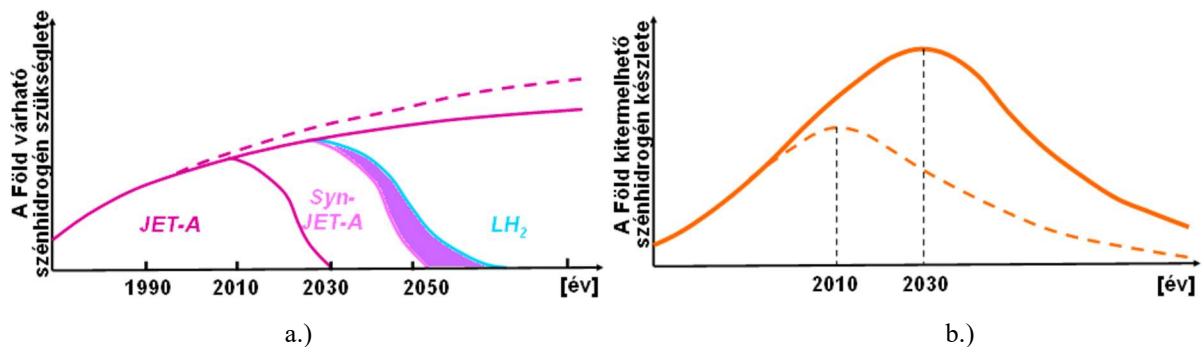


## A világ legnagyobb kőolajkészletei országonként



5. ábra Földünk jelenleg ismert kőolaj tartalékai [25]

A 6.a és 6.b. ábrák alapján megállapítható, hogy a fosszilis eredetű tüzelőanyagok iránti igény folyamatosan növekszik. Optimista becslések szerint (folyamatos vonal) a kínálat ezt 2040-ig képes kielégíteni, míg a pesszimista előrejelzés (szaggatott vonal) ennek idejét korábbra teszi (8.b. ábra).



6. ábra A repülőgép tüzelőanyagigény (a.) és a kitermelhető kőolaj mennyiség előrejelzése (b.) [26]

A kőolaj világpiaci árát (7. ábra) nem csak a gazdaságosan kitermelhető mennyiség befolyásolja, hanem politikai okok, spekulációk is, melyekhez sorolható a kitermelés korlátozása, különböző válságócokban a helyi háborúk kirobbanása miatt időlegesen, illetve az ázsiai országokban (pl. Kína, India) folyamatosan növekvő energiaigény.



7. ábra WTI<sup>6</sup> nyersolaj árak változása 10 éves időtartamban ábrázolva [27]

Ugyanakkor az olajár csökkenése is látható a fenti diagramban. Ennek több oka is lehet, mint például az elektromos meghajtású, illetve hibrid gépjárművek megjelenése, ezek üzemeltetésének állami dotációja, új kőolaj lelőhelyek feltárása és kitermelésbe vonása, kinyerésükhöz szükséges újabb technológiák megjelenése.

Egyes országok, például Brazília, azért kezdtek alternatív tüzelőanyag fejlesztésbe (biodízel tilápia halolajból, bioetanol cukornádból), mert függetlenedni szeretnének az olajpiactól [28].

A légi járművek kiszolgálását végző gépjárművek üzemanyagellátásával kapcsolatban szintén szigorodnak a környezetvédelmi előírások, hiszen az Európai Unió szabályozások rájuk is vonatkoznak, tehát számukra is megoldást kell keresni, hogy széndioxid kibocsátásuk mérséklődjön, vagy megszűnjön.

A repülőterek energia felhasználása igen magas, melyet eddig fosszilis energiahordozókkal biztosítottak. Egyfelől az üzemeltetési költségek folyamatosan nőnek a piaci árak emelkedésével, a környezetvédelmi előírások és a kapcsolódó bírságok ezzel együtt szigorodnak, így a fenntarthatóság biztosítása elengedhetetlenné teszi a megújuló energiaforrások egyre nagyobb arányú bevonását az üzemeltetésükbe.

<sup>6</sup> West Texas Intermediate (WTI): referenciaként használt nyersolaj fajta.

## KUTATÁSI CÉLKITŰZÉSEK

A műszaki, tudományos problémák megoldása érdekében, kutatásaim során, meghatározóan a katonai légi járművek figyelembevételével:

- kutatom, elemzem és a lehetséges mértékben meghatározom az alternatív üzemanyagok önálló és/vagy adalékként történő alkalmazásának lehetőségeit, bevonva ebbe a repülést kiszolgáló járműveket is;
- a gazdaságosabb működtetés megvalósítása érdekében törekszem feltárni korszerűbb, hatékonyabb, környezetkímélőbb légi és földi üzemeltetési eljárásokat, kiszolgáló eszközöket és azok alkalmazási lehetőségeit;
- gazdaságossági elemzéseket végzek, melyekből meg kívánom állapítani, milyen mértékben és módon érdemes korszerűsíteni a repülőterek épületgépészeti és elektromos rendszereit, e megoldásokkal javítható-e érdemben a költséghatékonyság, továbbá környezetvédelmi szempontból megfelelőek lesznek-e.

## KUTATÁSI HIPOTÉZISEK MEGFOGALMAZÁSA

H1: A katonai légi járműveknek is az egyre szigorodó nemzetközi és hazai előírásoknak megfelelően, a környezet védelme érdekében csökkentenie kell a károsanyag kibocsátását, így az ASTM által jóváhagyott fenntartható repülőgép tüzelőanyagot (SAF) szükséges alkalmazniuk.

H2: A légi járművek saját hajtóműveikkel, a repülőtereken történő mozgásuk során, illetve a futópályára vagy erről történő gurulás közben, jelentős zajhatások mellett, számottevő károsanyag mennyiséget is kibocsátanak környezetükbe. Eközben idegen anyagokat is beszívhatnak a hajtóművekben, melyek meghibásodásokat okoznak, illetve károsíthatják azokat. Ezeket megelőzendő, elhárítandó célszerű a repülőgépek repülőtéren történő mozgását más módon, például különböző elektromos, esetleg önvezérlő dízel meghajtású eszközökkel megvalósítani.

H3: Helyszíni vizsgálataim során összegyűjtöm fajtánként a katonai repülőterek energiafelhasználását és kutatom a magas energiafogyasztás csökkentésének különböző lehetőségeit, megoldásait, berendezések beépítésével, alkalmazásával, a jelenleg üzemelő rendszerek korszerűsítésével, illetve az energiafelhasználás kiváltható részében a megújuló energiaforrások alkalmazásával.

H4: A katonai repülőtereknek is szükséges a karbonlábnyom-számítását elvégezni, amely segítségével megállapítható, területenként lokalizálható, hogy mekkora mennyiségben bocsátanak ki üvegházhatású gázokat az egyes helyi energiafelhasználók, továbbá meghatározható, ezek milyen mértékben csökkenthetők az üzemelő rendszerek felújításával, illetve megújuló energiaforrások bevonásával.

## **KUTATÁSI MÓDSZEREK**

A téma feldolgozása során a kitűzött célok elérése érdekében a következő módszereket kívánom alkalmazni:

- feltárom, tanulmányozom és elemzem az értekezés témájához kapcsolódó magyar és nemzetközi szakirodalmat;
- a hazai katonai és polgári repülőtereken a helyszínen tanulmányozom a jelenleg alkalmazott légi jármű üzemeltetési, illetve a repülőterek működtetési eljárásainak energetikai és környezetvédelmi kérdéseit, előírásait, a helyi szakemberekkel konzultálva keresem az esetleges hiányosságokat, illetve ezek megszüntetési, kijavítási lehetőségeit;
- rendszeresen részt veszek hazai és külföldi a témához kapcsolódó szakmai konferenciákon, megbeszéléseken, konzultációkon;
- rendszerezem a megszerzett ismereteket, adatokat, ennek eredményeképpen megvalósításra érdemes javaslatokat, következtetéseket dolgozok ki;
- kutatási eredményeimet folyamatosan publikálom szakmai kiadványokban, és ismertetem szakmai fórumokon, konferenciákon;
- az elvégzett munkámról kapott visszajelzéseket, javaslatokat folyamatosan felhasználom az értekezés kidolgozása során.

## **RELEVÁNS SZAKIRODALMAK ÁTTEKINTÉSE**

A szén-dioxid kibocsátás vizsgálata az utóbbi pár év igen jelentős témává nőtte ki magát. Hetente találkozhatunk a káros hatásairól, mérséklésének esetleges módszereiről szóló tanulmányokkal, közleményekkel szakfolyóiratokban és az internetes portálokon. Elmondható, hogy jelenleg az összes érintett szakterület, az energiaellátástól a légiközlekedésig, foglalkozik ezekkel a kérdésekkel, illetve törekednek megoldást találni a CO<sub>2</sub> emisszió csökkentésére. Nem csak klímakutatók, hanem a légi járművekkel kapcsolatos különböző légiügyi szervezetek is, melyeknek eddig a repülésbiztonságot szavatoló rendeletek, szabványok létrehozása és

betartatásának volt a fő feladatuk, napjainkra a kötelezettségeik a környezetvédelemre is kiterjednek.

Az egyik legnagyobb Nemzetközi Polgári Repülési Szervezete (International Civil Aviation Organization – ICAO) dolgoz ki ajánlásokat, vezérelveket, szabványokat, valamint elemzéseket, tanulmányokat készít, illetve segítséget nyújt a légitözlekedéssel kapcsolatos problémák megoldásában. Hivatalos honlapjukon (<https://www.icao.int/Pages/default.aspx>) külön fejezetben foglalkoznak a légitözlekedéssel kapcsolatos környezetvédelemmel. A szervezethez tartozó államoknak külön akciótervet készítettek a széndioxid kibocsátás csökkentésére, melyet Magyarországnak is megküldtek. A dokumentum elején gazdasági elemzés található a magyar légitözlekedéssel kapcsolatosan, majd ismertetik az Európai Unióra vonatkozó károsanyag kibocsátási szabványokat, kutatásokat és fejlesztéseket (például a Clean Sky), ezután az alternatív tüzelőanyagok alkalmazási lehetőségeit mutatják be rövid-, illetve hosszú távon. A légiforgalmi irányítás fejlettebb formáinak (Single European Sky, SESAR) használatára tesznek javaslatot, továbbá a repülőterek környezetvédelmét is áttekintik. Háromévente környezetvédelmi jelentést készített az ICAO. Az összefoglalókban megtalálhatók a repülőgépek zajkibocsátásának elemzése, modellezése, a globális, illetve a helyi emissziók analízise és a nemzetközi együttműködések bemutatása. A 2010-es kiadványban már szerepeltek az alternatív tüzelőanyagokkal végzett tesztrepülések, a velük kapcsolatos irányelvek, létrehozott módszerek felsorolása, jelenlétük ismertetése a repülésben, továbbá legfrissebb kutatásokat is szerepeltetik benne. A későbbi jelentéseikben az előző kiadványokban megjelent adatokat az adott időszakra frissítette a szervezet, és bővítette akciótervekkel, javaslatokkal a szén-dioxid kibocsátás csökkentésére technológiai és gazdasági téren egyaránt, illetve a CAEP<sup>7</sup> által elért eredményekkel, irányvonalakkal.

Az EASA is kiadta, és hozzáférhetővé tette az Európai Repülési Környezetvédelmi Jelentését 2019-re, amelyet az Eurocontrollal, illetve az EEA<sup>8</sup>-val készített el. Ez az összefoglaló a 2016-ban kiadott dokumentumra épült, annak adatait frissítette, bővítette a különböző európai államok légügyi hatóságai segítségével. Az összefoglaló több fejezetből áll, melyek témái lefedik a repüléssel kapcsolatos egész szakterületet, mint például: légitűrművek károsanyag- és zaj kibocsátása (új szabványok bemutatása), környezetre gyakorolt hatása, fenntartható forrásból származó tüzelőanyagok fajtái és jövője, légiforgalmi irányítás (Single

---

<sup>7</sup> Committee on Aviation Environmental Protection – Repülési Környezetvédelmi Bizottság

<sup>8</sup> European Environment Agency – Európai Környezetvédelmi Ügynökség

European Sky kezdeményezés), repülőterek környezetvédelme, piaci intézkedések (ETS, CORSIA).

ACARE kiadta Stratégiai Kutatási és Innovációs Napirendjét (Strategic Research & Innovation Agenda) 2017-ben, amely az elődjének egy frissített változata. Kiadványában az előzőekben bemutatott kettőhöz kicsit eltérőbb témákkal foglalkozik, melyeket öt nagy csoportba rendezett. Kiemelten figyelmet fordít ez a szervezet és környezetvédelemre, valamint az energiaellátásra (alternatív tüzelőanyagok, légiforgalmi irányítás fejlesztése, újrahasznosítás, hatékonyabb erőforrás felhasználás stb.). Emellett összegyűjtötte az igényeket a társadalom, illetve a piac részéről a légiközlekedés terén, külön fejezetben fejt ki nézeteit és ajánlásait a biztonság (repülésbiztonság, repülőterek védelme), karbantartás és a kutatás, tesztelés, oktatás hármas területéről.

# I. ALTERNATÍV TÜZELŐANYAGOK ÉS MEGHAJTÁSOK

## I. 1. BIO- ÉS SZINTETIKUS TÜZELŐANYAGOK ALKALMAZÁSA A LÉGIJÁRMŰVEKBEN

A fosszilis tüzelőanyagokkal szembeni felmerülő környezetvédelmi és gazdasági problémák megoldására kezdték el fejleszteni a bio- és a szintetikus tüzelőanyagokat. Légitjárművekben történő alkalmazásukhoz több elvárást is ki kell elégítenie. Ezek közül a fontosabbak:

- rendelkezzenek olyan kémiai és fizikai tulajdonságokkal, amelyekkel a jelenleg használatos, fosszilis eredetű üzemanyagokat részben vagy teljes egészében kiválthatják;
- feleljenek meg a jelenleg is üzemelő tüzelőanyagrendszerekben, ehhez kapcsolódóan az érvényben lévő és rájuk vonatkozó légügyi szabványoknak;
- alkalmazásuk során károsanyag jóval kevesebb vagy egyáltalán ne kerüljön a légkörbe,
- előállításukhoz megújuló energiaforrásokat használjanak, illetve az ehhez kapcsolódó költségek alacsonyabbak legyenek, mint a fosszilis eredetű tüzelőanyagoké,
- tüzelőanyag rendszerbe kerülésük esetén garantálják az üzemelés biztonságát.

### I. 1. 1. A BIO- ÉS A SZINTETIKUS TÜZELŐANYAGOK FAJTÁI

A bio- és a szintetikus tüzelőanyagokat nem lehet teljesen egymástól elkülönítve kezelni, hiszen léteznek átfedések közöttük, mint például egyes alapanyagfajták, illetve előállítási technológiák is.

A bioüzemanyagoknak növényi (fitomassza) vagy állati (zoomassza) biomassza az alapanyaguk, mint a fosszilis eredetű tüzelőanyagoknak. Anaerob bomlás<sup>9</sup> eredményeképp jönnek létre mezőgazdasági növényekből, ipari, illetve kommunális hulladékokból. Többféle csoportosítási lehetőségük létezik; az egyik ezek közül a generációkénti besorolás, amely alapját nyersanyagok fajtája és származása (termesztési hely) határozza meg.

Az *első generációs bioüzemanyagok* (másnéven tradicionális bioüzemanyagok) alapanyagait emberi étkezésre, illetve állati takarmányozásra is alkalmas hagyományos termőföldeken megtermesztett növények biztosítják. Ide sorolható a burgonya, a kukorica, a cukornád, a napraforgó, a cukorrépa stb. Belőlük növényi olajat, cukrot és keményítőt nyernek

---

<sup>9</sup> Általában a levegő kizárásával végbemenő kémiai átalakulás gyakorlatilag a szerves anyagok levegő távollétében, mikroorganizmusok hatására lejátszódó leépülésének (anaerob fermentáció, anaerob bomlás) része, amely a természetes átalakulások (pl. rothadás, erjedés) és a biodegradációs eljárások (pl. iszaprothasztás) során is szerepet játszik. (Kislexikon)

ki, amelyből kémiai eljárások során bioüzemanyagok készíthetők. Előállításuk során fermentálást és transzészterezést használnak, melyeket egy I. 1. 2. alfejezetben mutatok be. [29]

A fent említett növények és a termőföldek piaci ára emelkedni kezdett, ahogy egyre nagyobb kereslet mutatkozott irántuk nemcsak az élelmiszeripar, hanem a közlekedés területén is. Ez a két ágazat folyamatosan versenyt vív egymással az alapanyagokért. Ez a harc a harmadik, illetve a negyedik generációs bioüzemanyagok megjelenésével mérséklődött. Ezzel kapcsolatban etikai kérdések is felmerülnek, melyek nemcsak az első, hanem a második generációs bioüzemanyagokat is érintik: lehet-e, szabad-e ezeket a kultúrnövényeket energiahordozóként felhasználni, olyan termőföldeken termesztani, melyek jó minőségűek, mindaddig, amíg előfordul éhínség a Földön; mekkora területek vonhatók művelés alá, amit kiszakítunk a bioszférából, mellyel kisebb lélettérbe szorítjuk fokozatosan a flórát és a faunát?

*A második generációs bioüzemanyagok* nyersanyagai se emberi étkezésre, se állati takarmányozásra nem alkalmasak. Alapanyagikat javarészt organikus maradványok, mezőgazdasági hulladékok, gyorsan növvő fa- és energiafűvek szolgáltatják. Az első generációsokhoz képest fajlagosan több energia nyerhető ki belőlük adott területre vonatkoztatva, és gyengébb minőségű termőfölddel is beérik, de ugyanúgy felhasználják a talajban lévő, növekedésükhöz szükséges tápanyagokat, mint a hagyományos bioüzemanyagok nyersanyagai. [29]

*A harmadik generációs bioüzemanyagok* nyersanyagát különböző fajtájú algák által megtermelt olaj adja. Termesztésükhöz nyíltvízi medencéket vagy fotobioreaktorokat használnak, melyek kültérre vagy beltérre is egyaránt telepíthők, így nem vesznek igénybe termőföldeket a mezőgazdaságtól. További előny, hogy növekedésükhöz nincs szükségük tiszta ivóvízre, megfelelően tudnak fejlődni sós- (tengeri fajok), illetve szennyvízben is. Az algákat legtöbbször génkezelésnek vetik alá a magasabb olajhozam és a külső élősködőktől való nagyobb ellenállóképesség fejlesztéséért. Az algák alapanyagul szolgálnak metán (anaerob mód), biohidrogén (fotobiológiai mód), illetve biodízel (általuk termelt olaj) előállításához. [30]

*A negyedik generációs bioüzemanyagokat* elektro- vagy fotobiológiai üzemanyagoknak is szoktak nevezni, fő előállítói a mikroalgák és a cianobaktériumok. A harmadik generációsokhoz képest a mikroorganizmusok csak katalizátorként vannak jelen ebben a folyamatban, nem pedig nyersanyagként. Létrejöttükhöz a napfény energiáját használják, illetve a közvetlen környezetükben fellelhető olcsóbb, fenntartható fejlődésbe illeszthető energiaforrásokat. Ezzel párhuzamosan zajlik a szintetikus biológia fejlesztése is, mely



segítséget nyújt technológiai előre haladásukhoz különböző technikai módszerekkel, eszközökkel, hogy még több és jobb minőségű bioüzemanyagot állítsanak elő a mikroorganizmusok segítségével. [31]

A bioüzemanyagoknak több fajtája létezik, melyeket néhány fizikai jellemzőjükkel a 2. számú táblázat mutat be.

Üzemanyagok	Alapanyag	Energiasűrűség [MJ/kg]	CO <sub>2</sub> kibocsátás elégetéskor [kg/kg]	Megjegyzés
<b>Bioalkoholok</b>	Növényekből (kukorica, cukornád, búza, burgonya, gyümölcsök) kinyert keményítő.			
<b>Etanol</b>		30	1,91	
<b>Propanol</b>		34	N/A	
<b>Butanol</b>		36,6	2,37	
<b>Bioészterek</b>	Alkoholok víztelenítésével előállítva.	N/A	N/A	Adalékanyagokként használják őket a teljesítmény-növeléshez és a károsanyag kibocsátás csökkentésére.
<b>Metanol</b>	Növények ehetetlen részeiből.	19,7	1,37	Az etanolhoz képest élettanilag mérgezőbb, és kisebb energiasűrűséggel rendelkezik.
<b>Növényi olajok</b>	Nem vagy csak kicsit módosítva a felhasználáshoz.			
<b>Ricinus olaj</b>		39,5	2,7	
<b>Olíva olaj</b>		39	2,8	
<b>Növényi zsír</b>		32	N/A	
<b>Napraforgó olaj</b>		40	2,8	
<b>Biogázok</b>	Baktériumok és anaerob erjesztéssel előállított metán.	55	2,74	Ugyanolyan tulajdonságokkal rendelkezik, mint a fosszilis energiahordozókból előállított metán.
<b>Biodízel</b>	Állati zsiradékok, növényi olajok, algák.	37,8	2,85	Az FT eljárás során szénhidrogén jön létre hidrogénből és szén-monoxidból.
	Cellulóz és papírgyártási hulladékból FT szintézissel.	37,8	2,85	
<b>"Zöld" dízel</b>	Hidrokrakkolt olajból és zsiradékból.	48,1	3,4	Kémiai szempontból azonos a fosszilis eredetű dízellel.
<b>Biohidrogén</b>	Algákból vízbontással.	123	Nincs üvegházhatást okozó gáz kibocsátás elégetéskor.	Fosszilis energiahordozókból előállított hidrogén kiváltására.

2. táblázat Különböző bioüzemanyag fajták és néhány jellemzőjük [32]

A gázturbinás hajtóművekben alkalmazott kerozin kiváltására hozták létre a HEFA vagy másnéven HRJ típusú tüzelőanyagot. Nyersanyagául állati zsiradékok, növényi, algákból kivont olajok és használt sütőzsiradékok szolgálnak. Előnye, hogy magas cetán számmal (tökéletesebb égéssel), tárolási stabilitással rendelkezik, mentes aromás és kénvegyületektől, koromtól. Alkalmazásával nagyrészt csökkenhet a légkörbe kerülő üvegházhatást okozó gázok, illetve a lebegő részecskék mennyisége. Akár önmagában is alkalmazható lehetne a jelenleg használatban lévő hajtóművekben, hiszen korróziót se okoznak, viszont kenési tulajdonságai elmaradnak a kerozinétól (kén és oxigén hiánya), továbbá magas a paraffin tartalma (függ az alapanyagtól), amely dermedési pontját előnytelenül befolyásolja, így inkább hagyományos tüzelőanyagokkal keverve alkalmazzák. [33]

A Shell Groups és az IPFEN kutatói közösen tesztek is folytattak a HEFA tüzelőanyaggal. Első lépésként létrehoztak az előbbi vegyületből kettő, különböző tulajdonsággal rendelkezőt, majd eltérő arányban keverték hagyományos Jet A-1 kerozinnal. Az eredményeiket az alábbi táblázat tartalmazza. [34]

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

3. táblázat HEFA1, HEFA2-es jelű és a Jet A-1 kerozin különböző arányú keverékeinek paraméterei [34]

Jól látható a 3. táblázatból, hogy a HEFA jelzésű alternatív tüzelőanyagok teljes egészében nem tudják kiváltani a jelenleg is alkalmazott Jet A-1-et, de vele keverve javulnak a kémiai-fizikai tulajdonságaik.

A repülőgép üzemanyagként alkalmazható bioalkoholok közé főként az etanolt és a butanolt sorolják, melyeket növényekből származó keményítőből, cukorból, illetve biogázból állítanak elő. A hagyományos tüzelőanyagokhoz képest tisztább égést eredményeznek, nehézfémeket nem tartalmaznak, alkalmazásukkal negyedannyi CO<sub>2</sub>, ötödannyi SO<sub>x</sub> kerül a légkörbe. Mindkét alkohol fajta nagyon illékony, alacsony energiasűrűségű és lobbanáspontú, illetve korrózív. Bár az elvégzett vizsgálatok alapján a butanol valamivel kedvezőbb

tulajdonságokkal rendelkezik (kevésbé maró hatású, fűtőértéke magasabb stb.) az etanolnál, mégse használható önmagában egyik se tüzelőanyagként hajtómű átalakítás nélkül, viszont adalékként alkalmazhatók. Nem csak az előzőekben felsorolt tulajdonságaik szabnak határt a repülésben történő alkalmazásuknak, hanem az is, hogy használatukhoz a jelenlegi kiszolgáló infrastruktúrát át kellene alakítani. [33]

A földgáz kitermelés melléktermékeként jelennek meg a paraffin-szénhidrogének, melyek kémiai képlete:  $C_nH_{2n+2}$ . Cseppfolyósított állapotban kriogén gázoknak nevezik őket. Utóbbi csoporthoz tartozik a hidrogén is. Ezek közül a  $H_2$ , illetve a  $CH_4$  emelkedik ki repülés szempontjából, ugyanis ezzel a két gázzal végeztek behatóbb kutatásokat. Bioüzemanyag alapanyagként tekinthetjük őket, ha biomassza eredetűek.

A hidrogén égéshője 2,7-szer, míg a metáné 1,5-szer magasabb a kerozinnál, így akár megfelelőek is lennének légijárművekben történő alkalmazásra, de problémák jelentkezhetnek a tárolás és a szállítás területén. Ahhoz, hogy cseppfolyós maradjon mindkét vegyület, alacsony hőmérsékletre van szükség: hidrogén esetében  $-253$  és  $-262$  °C közöttire, míg metán esetében  $-160$  °C alattira, amely miatt az egész tüzelőanyag rendszert, hőszigetelését, illetve a kiszolgáló infrastruktúrát át kell alakítani. Környezetvédelmi szempontból előnyük, hogy elégetésükkor a hidrogén esetében csak vízgőz keletkezik (bár nagy magasságokban üvegházhatású), míg a metán felhasználása során a szén-dioxid emissziója 25%-kal kevesebb, mint a hagyományos tüzelőanyagoknak. A jelenleg üzemben lévő légijárművek hajtóműveit nem működtethetők velük, így alkalmazásukkal módosítások szükségesek, amelyek költségvonzata igen magas. Fejlesztések folynak továbbra is pl. egy gázzal üzemelő MI-8MTG helikopterrel 2%-os üzemanyagcsökkentést értek el azonos utazási idő és távolság esetén a JET-A üzemanyaggal működő MI-8MT helikopterhez képest, melyet a 4. táblázat mutat be. [33][35]

No	Vizsgált jellemző	MI-8MT bázis	MI-8MTG gáz üzemanyaggal			MI-8MT +260 kg kerozinnal
			L=const (640 km)	G <sub>terh</sub> =const (1550 kg)	teljes feltöltés	
1.	$m_{norm, felszálló}$ [kg]	11100	11130	11130	<b>11130</b>	11100
2.	$m_{üres}$ [kg]	7523	7683	7683	<b>7683</b>	7623
3.	müza, felszálló [kg]	2027	1988	1897	<b>2241</b>	2287
	- kifogyasztó tartály:	345	345	345	<b>345</b>	345
	- főtartály:	1682	1643	1552	<b>1896</b>	1682
	- póttartály:	-	-	-	-	260
4.	Üza. fogyasztás [kg] H=const esetén	1682	1651	1560	<b>1904</b>	1941
5.	Óránkénti üzemanyag fogyasztás [kg/óra]	605	593	593	<b>593</b>	605
6.	Kilométerenkénti üza. fogyasztás [kg/km]	2,63	2,58	2,58	<b>2,58</b>	2,63

7.	Utazó sebesség [km/ó]	230	230	230	<b>230</b>	230
8.	H <sub>max. stat</sub> [km]	4	4	4	<b>4</b>	4
9.	Hasznos terhelés [kg]	1550	1495	1550	<b>1206</b>	1191
10.	Repülési távolság [km]	640	640	605	<b>738</b>	738

4. táblázat A MI-8MT és MI-8MTG repülési teszteredményeinek összehasonlítása [36]

A biodízel alapanyagául növényekből, algákból kivont olajok, állati zsiradékok szolgálnak, csak úgy, mint a HEFA-nak. Biológiailag könnyen lebomló, nem toxikus tüzelőanyag, mely kiváló kenőképességgel bír, ként nem tartalmaz, így alkalmazásával csökkenteni lehet az üvegházhatású gázok légkörbe jutását. Magasabb gyulladásponttal és alacsonyabb energiasűrűséggel<sup>10</sup> rendelkezik a hagyományos tüzelőanyagokhoz képest, továbbá a benne megtalálható telített és telítetlen zsírsavak előnytelenül befolyásolják tárolási stabilitását, illetve dermedési pontját, amely miatt nagy magasságban történő repülésekhez önmagában nem ajánlott, viszont különböző adalékanyagokkal ez utóbbi tulajdonsága javítható. A jelenleg üzemben lévő tüzelőanyagrendszerbe tisztán vagy hagyományos tüzelőanyaggal keverve is tölthető, és a kiszolgáló infrastruktúrát sem kell átalakítani alkalmazásakor. Igen nagy hátránya, hogy előállítás (transzészterezés, lsd. I. 1. 2. alfejezetben) sok vizet igényel. [33]

A XX. század elején Friedrich Bergius, Nobel-díjas német kémikus szintetikus üzemanyagot állított elő szénből. Az általa 1913-ban szabadalmaztatott eljárás a II. világháborúban Németország alkalmazta eredményesen, amikor is napi termelésének csúcserő értéke elérte a 19700 m<sup>3</sup>-t, melyet 25 üzemben állítottak elő. A szövetségesek elfoglalták földgáz és kőolaj lelőhelyeit, így szükséges volt az ország határain belül fellelhető kőszénre támaszkodnia, hogy nyersanyagként használva üzemanyaggal lássa el gépjárműveit. A Bergius-folyamatot később felváltotta a napjainkban is alkalmazott Fischer-Tropsch szintézis.

A szintetikus tüzelőanyagok fő csoportosítási szempontja az alapanyaguk fajtája szerinti. Így megkülönböztethetők GTL, CTL és BTL típusúak.

A *GTL alapanyaga a földgáz*, melynek fő alkotóeleme a metán. A Föld üledékes rétegeiben, kontinentális talapzatokban található meg az óceánokban, tengerekben, a szárazföldön pedig a permafroszt rétegekben. Ez az alternatív tüzelőanyag szintelen, szagtalan, folyékony halmazállapotú, tisztább égést nyújt, mint a hagyományos tüzelőanyagok, továbbá

<sup>10</sup> „A fizikában az energiasűrűség az adott rendszerben vagy térrégióban tárolt energia mennyisége térfogategységenként.”, forrás: [https://en.wikipedia.org/wiki/Energy\\_density](https://en.wikipedia.org/wiki/Energy_density)

alkalmazásával kevesebb nitrogén-, kén-oxid, szén-monoxid, illetve lebegő anyag kerül a környezetbe (8. ábra).



8. ábra Hagyományos és GTL tüzelőanyag égése [37]

A CTL nyersanyaga köszén, melynek kitermelése, alkalmazása folyamatosan növekszik, (USA-ban és Kínában kiterjedt lelőhelyek vannak) és az előrejelzések szerint a 2030-as évekre túl fogja szárnyalni a földgázt. Kénmentes vegyület, magas hőmérsékleten is stabil marad, elégetésével kevesebb nitrogén-oxid kerül a levegőbe. Az Amerikai Egyesült Államokban kutatások folynak ezzel az alternatív tüzelőanyaggal kapcsolatban, ugyanis előirányzatuk, hogy 2025-re a légierő légi járművei 70%-ban CTL-t alkalmazzanak üzemanyagként.

Nagy hátránya a CTL-nek és a GTL-nek, hogy nem szénszemlegesek, nem megújulóak, így a fenntartható fejlődésbe nem illeszthetők bele, viszont úgynevezett „drop-in” tüzelőanyagok [38], melyek alkalmazhatók a jelenleg is használatban lévő légi járművekben tüzelőrendszerében átalakítás nélkül.

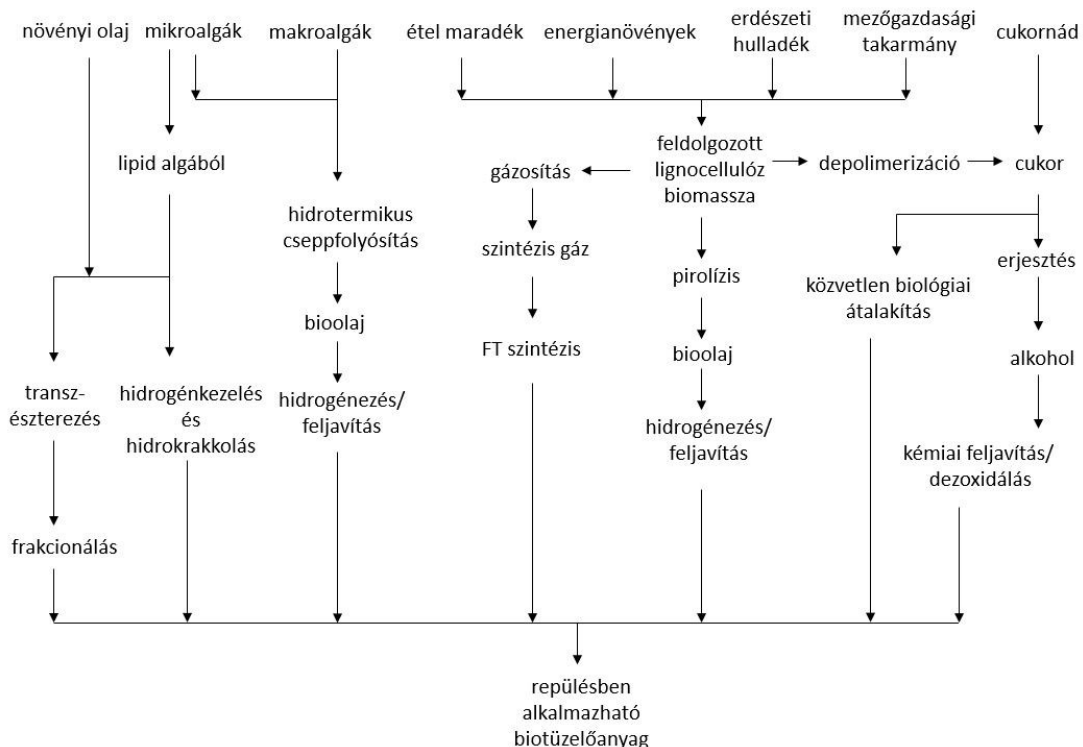
A drop-in-nek nevezhető egy tüzelőanyag, ha:

- a hagyományos tüzelőanyagokkal közel megegyező fizikai, kémiai jellemzői;
- az előbbiből következik, hogy különböző mértékben keverhetők fosszilis eredetű üzemanyagokkal;
- a jelenleg alkalmazott hajtóművekben is felhasználható;
- a pillanatnyilag is működő repülőtéri ellátási infrastruktúrákban szállítható, tárolható;
- fenntarthatóság feltételeit kielégíti. [39]

A *BTL típus* átmenetet képez a bio- és szintetikus tüzelőanyagok között, hiszen több lépcsőben, szintetikus úton állítják elő, de biomassza az alapanyaga, mely származhat magas cellulóz- vagy keményítő tartalmú növényekből, illetve ipari vagy kommunális hulladékból.

### I. 1. 2. A BIO- ÉS A SZINTETIKUS TÜZELŐANYAGOK ELŐÁLLÍTÁSA

A bio- és szintetikus tüzelőanyagok előállítására több eljárás is létezik, attól függően, hogy milyen alapanyagot használnak fel létrehozásukhoz. A 9. ábrán is jól látható, milyen szerteágazó a biotüzelőanyagok nyersanyaga, illetve mennyi féle módszert lehet alkalmazni, hogy a repülésben is igénybe vehetők legyenek. Az alábbiakban néhány metódust mutatok be, melyeket három nagy csoportra lehet osztani: termokémiai, biokémiai, illetve egyéb eljárások.



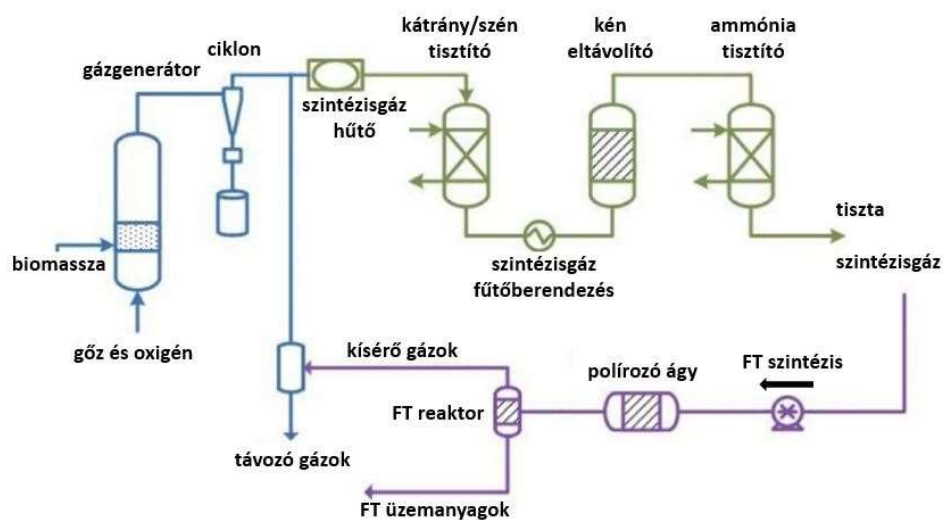
9. ábra A repülésben alkalmazható biotüzelőanyagok alapanyagai és előállítási lehetőségei [40]

A *termokémiai eljárások* alapjai a pirolízis, a gázosítás, illetve a kémiai úton történő úgynevezett feljavítás. Ezek a módszerek az alapjait képezik az összetettebb metódusoknak, mint a Fischer-Tropsch szintézis, a BTL eljárás és a hidrogénezés.

Pirolízis során szerves anyagokat bontanak magas hőmérsékleten oxigénszegény vagy oxigénmentes környezetben. A végtermékek között szilárd (pirolízis koks), folyékony (kátrány, olaj, bomlási víz) és gáznemű (pirolízis gáz) anyagok jelennek meg egyszerre. Hőmérséklettől függően megkülönböztethető lassú karbonizációt (400 °C alatt, hosszú ideig történő hevítés), gyors pirolízist (400-600 °C), illetve gázosítást (800-1000 °C, reagáltatás

levegővel vagy gőzzel, szintézis gáz megjelenése). [33][41] Mielőtt a létrejönne az alternatív tüzelőanyag legtöbbször feljavításra, tisztításra szorul, hogy alkalmazható legyen hajtóművekben. Tisztítás során a benne lévő olyan vegyületeket vonják ki, melyeket nem tartalmazhat légijármű hajtóanyag a szabványok szerint.

A Fischer-Tropsch (F-T) eljárással szintézisgázból ( $C+H_2O \rightarrow CO+H_2$ ) katalitikus úton szénhidrogén tartalmú szintetikus tüzelőanyagokat állítanak elő. 150 és 300 °C közötti tartományban zajlik a reakció, különböző katalizátorok (legelterjedtebbek a vas, a kobalt és a nikkal alapúak) segítségével. Több típusú szénhidrogén keletkezhet a végtermékként, amelyek fajtái függenek a folyamat során alkalmazott nyomás nagyságától, hőmérséklettől, illetve a katalizátor alapanyagától. A létrejövő alternatív tüzelőanyag kénmentes, kevesebb lebegő récskét, aromás vegyületet tartalmaz elégetése során, CTL és BTL esetén nitrogén-oxid mentes is. Előnyük továbbá, hogy nem toxikusak, magas cetánszámmal<sup>11</sup> rendelkeznek. A jelenlegi kiszolgáló infrastruktúrát nem kell átalakítani alkalmazásukkor, önmagukban vagy keverékként is felhasználhatók. Hátrányuk, hogy alacsony az energiasűrűségük, a kén hiánya miatt kenési képességeik nem megfelelőek, illetve szivárgás léphet fel a hajtóműben az aromás vegyületek csökkent jelenléte okán. Különböző adalékokkal azonban az utóbbi két probléma orvosolható. A Fischer-Tropsch szintézis igen költséges, mindemellett a hatásfoka is alacsony, (20-50)% közötti. Az ASTM D7566 szabvány jóváhagyta az F-T eljárással előállított alternatív tüzelőanyagok specifikációját 2009-ben, míg a HRJ-knek 2011-ben. [33]



10. ábra A Fischer-Tropsch eljárás működési vázlatja [42]

<sup>11</sup> cetánszám: belső égésű dízelmotorok fűtőanyagának (gázolaj) öngyulladás hajlamának jellemzésére szolgáló szám. Általában különleges, erre a célra szerkesztett cetánszám meghatározó motorokban határozzák meg.

A *BTL eljárás* során csak biomassza lehet az alapanyaga az előállított tüzelőanyagnak, melyet több egymásra épülő módszerrel hoznak létre, és magába foglalhatja az előbb taglalt Fischer-Tropsch szintézist is. Először a biomasszát előkezelik darabolással, tömörítéssel, ha szükséges kémiai beavatkozással is, majd ezután gázosítják, hogy létrejöjjön a szintézisgáz. Ezt a légnemű vegyületet a továbbiakban szintetikus úton tisztítják, végül F-T módszert vagy pirolízist alkalmaznak, végső lépésként pedig hidrogénezést, hogy létrejöjjön az alternatív tüzelőanyag. [33]

A *HRJ típusú alternatív tüzelőanyagot* hidrogénezéssel állítják elő állati-, használt sütőzsiradékból, illetve különféle növények (alga, jatropha-, camelina magjai) olajaiból. Az eljárás két részből tevődik össze. Az első szakaszban a kinyert olajból vagy zsiradékból a bennük lévő oxigént eltávolítják hidrogén segítségével, így melléktermékként propán és víz keletkezik. A második szakaszban izomerizáció és krakkolás következik. Az előbbi kémiai módszert azért alkalmazzák, hogy a létrejött vegyületet a hidegtűró tulajdonságát javítani tudják. A folyamat alatt ismét hidrogént juttatnak a rendszerbe, amely megváltoztatja az anyagok kémiai szerkezetét, viszont a kiindulási és keletkezett összetételt nem. Két lehetőség van: az egyiknél a zsírsavlánc hossza rövidül, és a reakció végére szén-dioxid is megjelenik, míg a másikonál a lánc hossza nem változik, mellette viszont víz keletkezik. A hidrogénezés végén krakkolásnak vetik alá a létrejött vegyületet, amely során magas hőmérsékleten, katalizátor jelenlétében megfelelő hosszúságúra tördelik a láncokat. Végeredményként egy megújuló alternatív tüzelőanyag jön létre magas termikus stabilitással, kén- és aromás vegyületektől mentesen, magas cetánszámmal. Kenési képessége ennek a HRJ-nek sem megfelelő, így vagy adalékanyagokkal, vagy hagyományos tüzelőanyaggal keverve alkalmazható hajtóművekben. [33][34]

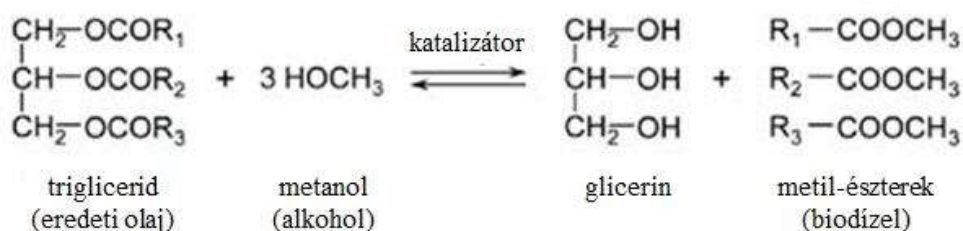
A biokémiai eljárások alapanyagát a biomassza szénhidrát tartalma biztosítja, amely lehet cukor, keményítő és cellulóz. Ezeket a vegyületeket fermentálás (erjesztés) útján mikroorganizmusokkal vagy különböző enzimekkel alakítják át alkohollá. A két legelterjedtebb a DSHC és a ATJ módszer.

A *DSHC folyamat* kiinduló anyaga a cukor, mely származhat közvetlen forrásból, mint például cukorrépa, cukornád, vagy a felhasználni kívánt biomasszából hidrolízis útján. A létrejövő cukormolekulákat erjesztésnek, majd tisztításnak vetik alá, végül hidrogénezik. A létrejövő alternatív tüzelőanyag 82%-kal kevesebb üvegházhatású gázt bocsájt a levegőbe égetése során, továbbá előnye, hogy előállítása nem tartozik a költséges kategóriába. [33]



Az *ATJ eljárás* közvetlen alapanyaga az alkohol. Ezt a vegyületet cukor, illetve keményítő erjesztésével állítják elő vagy a nyersanyagként szolgáló biomasszából kinyerik a cukrot, melyet ezután szintén erjesztenek. Ha nem, akkor megtörténik a gáztalanítás, majd a kapott vegyület erjesztésével fejeződik be. Maga az eljárás innen kezdődik, mely négy szakaszból áll. Először az etanolból vízkivonást (dehidratációt) végeznek, ezt követi az oligomerizáció (molekula láncok összekapcsolása), desztilláció és végül a hidrogénezés. A folyamat előnye, hogy nem igényel nagy energia befektetést, és jelenleg az alkalmazott alapanyagok sem drágák, hiszen akár hulladékok is lehetnek nyersanyagok. [33]

A transzészterezés (11. ábra) nem tartozik se a termo-, se a biokémiai eljárások közé, viszont fontos, mert növényi olajokból, állati zsiradékból állítanak elő segítségével alternatív tüzelőanyagot. A folyamat katalitikus egyensúlyi, 60 °C-on, légköri nyomáson, ~90 perc alatt zajlik le. Kiindulásként az olajat vagy zsiradékot katalizátor jelenlétében (lúggal a leggyorsabb) alkohollal reagáltatnak. Az utóbbi vegyületnél több fajtát is alkalmazhatnak, de gazdaságossági szempontból a metanol a legelterjedtebb. A végtermék biodízel és glicerin lesz, melyet többszöri vizes átvonással tudnak eltávolítani a folyadékból. [43]



11. ábra A transzészterezés folyamata (R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> szénhidrogén csoportokat jelölnek) [43]

A kutatásoknak, fejlesztéseknek köszönhetően sok fajta alapanyagból, több módszerrel állítható elő repülésben alkalmazható bio- és szintetikus tüzelőanyagok, melyek részben vagy teljesen megfelelnek az érvényben lévő szabályzóknak, továbbá használatukkal nem növekszik a légkörben az üvegházhatású gázok mennyisége, illetve a jelenleg üzemben lévő hajtóművekbe hagyományos tüzelőanyaggal keverve vagy önmagukban is alkalmazhatók.

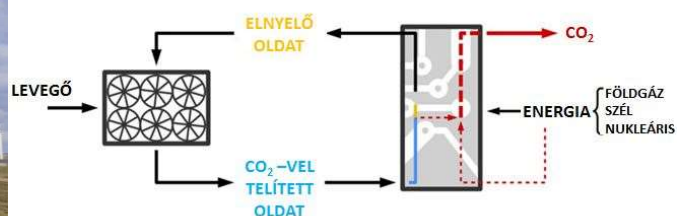
### I. 1. 3. A BIO- ÉS A SZINTETIKUS TÜZELŐANYAGOK FŐBB GYÁRTÓI

Az 1970-es évek óta gyárt GTL-t a Shell vállalat. Alternatív tüzelőanyagához földgázt használnak alapanyagként. Az általuk forgalomba hozott GTL Jet Fuel nevű tüzelőanyag egy olyan keverék, mely tartalmaz hagyományos kerozint, illetve szintetikus GTL Kerosene-t. Az utóbbi összetevő aránya 50% vagy afeletti is lehet, és több légi járműben történő alkalmazása már engedélyezett. [43]

A dél-afrikai székhelyű Sasol vállalat már több mint 60 éve foglalkozik szintetikus tüzelőanyagok gyártásával. Az általa védjegyzett Slurry Phase Distillate technológiával nagy teljesítményű, elégetése során alacsony károsanyag kibocsátású GTL-t állít elő Oryx GTL nevű üzemében partnerével, a Qatar Petroleummal együtt. Az szintetikus tüzelőanyaghoz az alapanyag a Katar északi részén elhelyezkedő földgáz mezőkről származik. [45]

A Sasol vállalat nem csak GTL, hanem CTL tüzelőanyagot is előállít. A kőszén alapú szintetikus tüzelőanyagának érdekessége, hogy nemzetközi jóváhagyást kapott 2008-ban, mely szerint önmagában is felhasználható légitűrhelyekben. A későbbiekben kiadta a saját megfelelőségi tanúsítványát a UK MoD , az ASTM és a IATA is. A cég terveiben szerepel, hogy kutatásokat végezzenek biomassza alapú szintetikus tüzelőanyag előállításában. [46]

Nem földgáz, hanem CO<sub>2</sub> nyersanyagú GTL-t állít elő a Carbon Engineering cég. 2009-ben Brit-Kolumbiában alapították a vállalatot, és ebben az évben építeni kezdte az úgynevezett közvetlen levegő leválasztóját (Direct Air Capture – DAC), majd 2015-ben a kísérleti üzemét Squamish-ben. Ezzel a berendezéssel a légkörben jelen lévő szén-dioxidot vonják ki, majd víz és megújuló energia betáplálásával Air To Fuels eljárással szintetikus tüzelőanyagot hoznak létre, amely 2017 decemberében sikerült is. (12. a. és b. ábra) Terveik szerint naponta 2 tonna CO<sub>2</sub>-t tudnak kivonni a légkörből. [47][48]



12.a ábra A Direct Air Capture látványterve [49]

12.b ábra A DAC működési vázlatja [50]

A kaliforniai székhelyű Fulcrum BioEnergy városi szilárd hulladékból állít elő BTL alternatív tüzelőanyagot. A nyersanyagot elgázosítják, hogy létrejöjjön a szintézis gáz, majd ebből Fischer-Tropsch szintézis útján szintetikus kerozint hozzanak létre. A United Airlines 2015-ben 30 millió dollárt fektetett a cégbe, továbbá a Cathay Pacific, két nagy hulladékszállító cég, az Amerikai Légierő (USAF) és a Haditengerészet mellett az USA Mezőgazdasági Minisztériuma is részt vesz a projektben. Öt üzemet terveznek építeni, melyek közül az első a Sierra Biofuel. A gyáregységet 2017-ben tervezték megnyitni, de a termelés csak 2022 decemberében indult meg. A tüzelőanyag előállító részleg mellett egy hulladék feldolgozó

létesítmény is lesz, melynek tervezett éves kapacitása 180 ezer tonna nyersanyag, melyből 45,5 millió liter szintetikus tüzelőanyagot állítanak elő. [51]

A Honeywell UOP vállalat Green Jet Fuel nevű biotüzelőanyagának alapját növényi olajok, illetve állati zsiradékok szolgáltatják (hidrogénezett észterek és zsírsavak, HEFA típus). Renewable Jet Fuel eljárással állítják elő, és hagyományos tüzelőanyaggal egyelőre 50%-ban keverhető. A lobbanás-, dermedési pontja, égési hője, illetve stabilitása megfelel a tüzelőanyag szabványokban rögzített értékeknek, alkalmazásával az üvegházhatású gázok légkörbe jutásának mennyisége 65-85%-kal csökken. „Drop-in” tüzelőanyagként használható, tehát alkalmazásával nem kell módosítani a jelenleg használt légitársaságok tüzelőanyag rendszerét és a hozzá tartozó infrastruktúrát. Az UOP vállalat több mint 1 milliónyi gallon Green Jet Fuel-t állított elő a kereskedelmi, illetve a katonai repülésének (USAF) tesztelésre, bemutatásra, illetve jóváhagyásra is. [52]

Algákból kivont olaj nyersanyagként szolgál több cégnek is az alternatív tüzelőanyagához. Ilyen például a Sapphire Energy által előállított Green Crude, mely a vállalat szerint, nem etanol, nem biodízel, és kiváltható vele a kerozin, a gázolaj, a benzin, továbbá megfelel a tüzelőanyag szabványoknak [53]. A hawaii és kaliforniai központú Cellana mikroalgákat termeszt, és biofinomítót üzemeltet, amellyel állati takarmányt, étrendkiegészítőket és bioüzemanyagokat állít elő ReNew Fuel néven. Ebbe a kategóriába tartozik a légitársaságokban alkalmazható alternatív tüzelőanyag is. A vállalat közlése szerint egyelőre csak max. 20%-ot tartalmazhat belőle a hagyományos üzemanyaggal alkotott keveréke. Alkalmazásával 75%-kal kevesebb szén-dioxid kerül a levegőbe, míg kénből és aromás vegyületekből is csak alig vagy egyáltalán nem. [54]

2022. januárban Törökországban Boğaziçi Egyetem campusán új laboratórium nyílt meg, amely algák termesztésével foglalkozik (13. ábra). Létrehozását az Európai Unió és a török állam finanszírozta. Kültéren medencékben és beltéren fotobioreaktorokban növesztik az algákat, melyekből repüléshez alkalmazható tüzelőanyagot, illetve más termékeket (táplálék kiegészítők, állati takarmányok) állítanak elő. A belőlük készülő bioüzemanyagot a Turkish Airlines légitársaság fogja felhasználni járatain. A rendszer teljes térfogata 110 m<sup>3</sup>, melyből a kültéri medencék részesedése 80 m<sup>3</sup>. A termelést erőteljesen befolyásolja a külső hőmérséklet napi és évszakonkénti ingadozása, amely Floridában is gondot jelentett, ahol nincsenek nagy különbségek az évi középhőmérséklethez képest. A másik tényező, amely befolyásolhatja a projekt sikerességét, az előállított termék a hagyományos tüzelőanyagokhoz képest jóval magasabb előállítási költsége. [55]



13. ábra Alga termesztés kültéri medencékben Törökországban [56]

A brazil GranBio vállalat második generációs bioetanolt állít elő. Alapanyaga cukornád maradék, illetve szalma, melyekből évente 300 ezer tonnát képest begyűjteni, tárolni és feldolgozni. A betakarított cukornád úgynevezett „Energy” típusú (bioüzemanyag előállításra nemesített), a hagyományosnál jóval nagyobb rosttartalommal rendelkezik, háromszorosa a produktivitása, kevesebb vízzel beéri, alacsony termőképességű talajon is megél. Bioflex 1 nevű üzemének éves kapacitása 60 millió liter bioüzemanyag. [57]

A Byogy Renewable szintén alkoholt (etanol, propanol, butanol stb.) készít cukornádból, kukoricából, vagy magas cellulóz tartalmú növényekből, majd katalitikus szintézissel ebből hosszú láncú szénhidrogéneket állít elő, amelyekből lepárlás útján megújuló benzint és sugárhajtómű tüzelőanyagot hoznak létre. Az utóbbi „drop-in” típusú, tehát tüzelőanyagrendszer átalakítás nélkül tölthető a légitjárművekbe. [58]

A LanzaTech vállalat a Pacific Northwest Nemzeti Laboratóriummal együttműködve, olyan eljárást dolgozott ki, mellyel kőszénből először etanolt, majd légitjárművekben alkalmazható tüzelőanyagot állítanak elő. Kerozin jellegű meghajtó anyagot úgy kapnak, hogy az alkoholból az oxigént eltávolítják víz formájában, majd a szénhidrogén molekulát megfelelő hosszúságúra kapcsolják össze. A fejlesztést az Egyesült Államok Energiaügyi Minisztériumának Bioenergiái Technológiák Irodája is támogatta, és finanszírozta. Az ASTM a bioetanolt tanúsította a D4806-98 szabvány szerint, 2018 áprilisában pedig az ATJ tüzelőanyagukat, mely szerint akár 50%-os keverési arányban is alkalmazható. A LanzaTech

vállalat által gyártott alternatív tüzelőanyagot először 2018. október 2-án tesztelték keverékként a Virgin Atlantic Légitársaság Boeing 747-es transzatlanti járatán. [59]

Bizakodásra ad okot, hogy Földünk számos országában több vállalat kormányzati támogatással is, fejlesztik az alternatív tüzelőanyagokat. Jól látható, hogy széles körű a nyersanyagok felhasználásának a lehetősége, többségéhez már létezik olyan technológia, mellyel kerozin kiváltására alkalmas tüzelőanyag hozható létre, továbbá a gyártók törekednek arra, hogy ha lehetőség van rá, mindezt megújuló energiaforrások segítségével állítsák elő.

#### **I. 1. 4. A BIO- ÉS A SZINTETIKUS TÜZELŐANYAGOK ALKALMAZÁSA**

A katonai és a polgári repülésben egyaránt tesztelték az alternatív tüzelőanyagok alkalmazását a légijárművekben. Harci helikoptereket, vadász-, utasszállító és mezőgazdasági repülőgépeket is feltankoltak részben vagy egészben ilyen hajtóanyagokkal, amelyekkel eredményes próbarepüléseket végeztek.

A Shell vállalat által előállított GTL típusú tüzelőanyaggal, 60%-ban kerozinnal keverve, háromórás tesztrepülést hajtott végre Nagy-Britanniából Franciaországba egy Airbus A380-as repülőgép 2008. február 5-én. A négy hajtóművéből egy lett a keverékkel megtáplálva, amelyet nem kellett átalakítani emiatt. Ez volt az első kísérlet, mely során földgázból származó tüzelőanyag használtak egy légijármű hajtóművében. [60]

CTL-t nagy mennyiségben az Amerikai Légierő alkalmazott tesztrepülésekhez, melyeket 2011-ben fejezett be, miután az összes típusú gázturbinás hajtóművel ellátott repülőgépén kipróbálta. 2006-ban elsőként egy B-52-esben került sor erre, ahol keverékként 50%-ban alkalmaztak alternatív tüzelőanyagot, majd 2008-ban F-15 C/D és F-15 E Strike Eagle-ben is ugyan ilyen arányban használták a CTL-t és a JP-8-at. Az Amerikai Légierő azt tervezi, hogy 2025-re légijárműveinek tüzelőanyaga 70%-ban kőszén alapú szintetikus üzemanyag lesz, hiszen az országnak nagy készletei vannak ebből, illetve függetleníteni tudja magát a külföldi nyersanyagok importtól. [61][62]

2014-ben ATJ módszerrel emberi fogyasztásra alkalmatlan kukoricából a Gevo vállalat által előállított tüzelőanyag és JP-8-as keverékével repült szintén az Amerikai Légierő két különböző típusú helikoptere. A tesztelés első szakaszában UH 60A Black Hawk-on próbálták ki az alternatív tüzelőanyagot, amely 180 órát töltött a levegőben (14. ábra). A második szakaszban CH-47 Chinook-kal tesztelték nem csak a földön, hanem a levegőben is összesen 30 órán keresztül. [63][64]



14. ábra Black Hawk helikopter 50%-os ATJ keverékkel repül [64]

Brazíliában a hazai gyártmányú, etanollal működő Embraer Ipanema EMB 202A mezőgazdasági felhasználású repülőgép nagy népszerűségnek örvend. Itt az alkoholt főként cukornádból állítják elő, így előszeretettel használják az ültetvények tulajdonosai, továbbá sikeressége még abban rejlik, hogy az etanolból 25%-kal kevesebbet fogyaszt a repülőgép, mint hagyományos tüzelőanyagból. 2005 márciusában indult meg gyártásuk, és 2014-ig összesen 269 darabot adtak el belőlük. [65]

A LanzaTech 2011-ben kötött partneri megállapodást kötött a Virgin Atlantic légitársasággal egy olyan új eljárás kifejlesztésére, mely az acélgyártásból származó hulladékgázt alakítja át etanollá. Ebből oxigén elvonás, illetve a szénhidrogén molekulaláncok megfelelő nagyságra történő hosszabbítása után alternatív tüzelőanyagot hoznak létre. A szén újrahasznosításával olyan üzemanyagot nyernek, mely tisztább égésű, környezetbarátabb, hatékonyabb a kerozinnál. 2018. október 3-án Orlando-ból Londonba repülő Boeing 747-esen alkalmazták az ATJ módszerrel előállított és a hagyományos tüzelőanyag keverékét. [66]

A Boeing vállalat ecoDemonstrator programot indított el a repülés biztonságának növelése, illetve a repülőgépek környezetre gyakorolt ártalmas hatásaink csökkentésére. 2014 decemberében a HEFA-hoz kémiaiilag nagyon hasonló tüzelőanyagot, úgynevezett zöld dízelt, alkalmaztak egy Dreamliner 787-ben. 15%-nyi arányban használták fel az állati-, és használt sütőzsiradékból, illetve növényi olajból létrehozott alternatív tüzelőanyagot, mellyel az első tesztrepülés során az egyik hajtóművet, majd a továbbiakban mindkettőt ezzel működtették. [67][68]

Kínában is zajlanak fejlesztések biotüzelőanyagokkal, hiszen az előrejelzések szerint az elkövetkező 20 évben közel hatezer új repülőgépet fognak üzembe állítani, melyeket ki kell tudni szolgálni hajtóanyaggal, továbbá megadott korlátok között kell tartani a repülés során a levegőbe kerülő üvegházhatású gázokat is. 2015-ben a Sinopec és a China National Aviation

Fuel csoport használt sütőzsiradékból állított elő tüzelőanyagot, amelyet 50%-ban kerozinnal keverték össze, majd egy Boeing 737-be feltöltve sikeres tesztrepülést hajtottak végre. [62]

Mikroalgából kinyert olajból állítja elő a Solazyme vállalat a Solajet nevű tüzelőanyagát. A United Airlines Eco-Skies programján belül 2011. november 7-én Boeing 747-800-as repülőgépek tesztrepüléshez sikerrel alkalmazták ennek az alternatív tüzelőanyagnak és a hagyományos kerozinnak a 40-60%-os keverékét. [69]

Nem csak algákból vonnak ki olajat biotüzelőanyag alapanyagaként, hanem sziksófűből is. Ezzel kapcsolatos fejlesztéseket, vizsgálatokat az Egyesült Arab Emírátsokban végezték a Masdar kutatóintézetben. A projekt lényege, hogy egy SAF-et hozzanak létre, mely sikerült is, hiszen a sziksófű termesztése összefonódott a hal- és rákfarmokon folytatott tenyésztéssel. A kutatásokba több nagy nemzetközileg is elismert cégek (Boeing, Honeywell UOP, Etihad Airways, Safran, GE, BAUER Resources), illetve a helyi vállalatok, kutatási konzorcium, (ADVOC, ADNOC, SBRC), egyetem (Khalifa Egyetem) is bekapcsolódott. Ennek eredményeként 2019. január 16-án az Etihad légitársaság Boeing 787-es repülőgépén helyben termesztett sziksófűből származó biotüzelőanyagot használtak először a világon. A járat Abu-Dhabiból Amszterdamba repült. [70]

Az előző fejezetben már bemutatott, a Honeywell UOP vállalat által előállított Green Jet Fuel-t, az USA Légierőjének és Haditengerészetének is gyártották, hogy kipróbálhassák légijárműveikben. Az 5. táblázatba e a tesztrepülések néhány adata került bele.

Légijármű	Helyszín	Dátum	Megjegyzések
<b>A10 Thunderbolt II csatarepülőgép</b>	Eglin AFB, Florida	2010. 03. 25.	Első tesztrepülés, melynél mindkét hajtóművet 50%-os biotüzelőanyag keverékkel táplálták meg.
<b>F/A-18 Green Hornet többcélú vadász-bombázó repülőgép</b>	Patuxent River, Maryland	2010. 04. 22.	Első szuperszónikus repülés, melynél mindkét hajtóművet 50%-os biotüzelőanyag keverékkel táplálták.
<b>Boeing AH-60D Apache harci helikopter</b>	Gilze-Rijen AFB, Hollandia	2010. 06. 16.	Első helikopterrel történő repülés 50%-os biotüzelőanyag keverékkel.
<b>C-17 Globemaster III teherszállító repülőgép</b>	Edwards AFB, Kalifornia	2010. 08. 27.	n. a.
<b>F-15 III Strike Eagle</b>	Eglin AFB, Florida	2010. 10. 22.	n. a.
<b>MH-60S Sea Hawk helikopter</b>	Patuxent River, Maryland	2010. 11. 18.	Első helikopterrel történő repülés az Egyesült Államokban 50%-os camelina növényből nyert biotüzelőanyag használatával.
<b>F-22 Raptor vadászbombázó repülőgép</b>	Edwards AFB, Kalifornia	2011. 03. 18.	Az USAF legfejlettebb harci repülőgépe M=1,5-tel repült 50%-os biotüzelőanyagot alkalmazva.
<b>F-15 E Strike Eagle vadászbombázó repülőgép</b>	Seymour Johnson AFB, Észak-Karolina	2011. 04. 01.	Kötélképrepülés, mely során a négy repülőgépből egy 50%-os arányban kevert biotüzelőanyagot használt.
<b>MH-60S Sea Hawk szállító helikopter</b>	Patuxent River, Maryland	2011. 05. 20.	Az első katonai légijármű, amely algából származó biotüzelőanyaggal repült.
<b>F-16 Thunderbird-ök bemutató kötelék</b>	Joint Base Andrews, Maryland	2011. 05. 20.	Az USAF első olyan légi alegysége, amely biotüzelőanyaggal repült.
<b>MV-22 Osprey konvertiplán</b>	Patuxent River, Maryland	2011. 08. 10.	Az USA haditengerészet dönthető légszavarú repülőgépe is 50%-os biotüzelőanyag keverékkel repült.
<b>T-45C Goshawk oktató-kiképző repülőgép</b>	Patuxent River, Maryland	2011. 08. 24.	n. a.
<b>The Blue Angels F/A-18 Hornets vadászbombázó</b>	Patuxent River, Maryland	2011. 09. 03-04.	Mind a hat repülőgép 50%-os biotüzelőanyag keveréket használt a repülésük során.
<b>AV-8B Harrier VTOL vadászrepülőgép</b>	China Lake, Kalifornia	2011. 09. 21.	n. a.
<b>MQ-8B Fire Scout helikopter</b>	Webster Field, Maryland	2011. 09. 30.	Az első pilóta nélküli repülőgép, amely biotüzelőanyagot használt repüléséhez.

5. táblázat A Green Jet Fuel alkalmazása az USA Légierőjének és Haditengerészetének légijárműveiben [71]

A felsorolt alkalmazások is jól mutatják, hogy nagyon erős a törekvés a polgári és a katonai repülésben egyaránt az alternatív tüzelőanyagok használatára, hogy kevesebb károsanyag kerüljön a környezetbe, illetve előállításukhoz megújuló energiaforrásokat vonjanak be egyre nagyobb arányban.

## I. 2. FENNTARTHATÓ REPÜLŐGÉP TÜZELŐANYAGOK

Az 1950-es évek óta 80%-ot fejlődött a repülés hatékonysága, amely a repülőgépek továbbfejlesztett aerodinamikájának, modern hajtóműveinek (hatásfok és teljesítmény

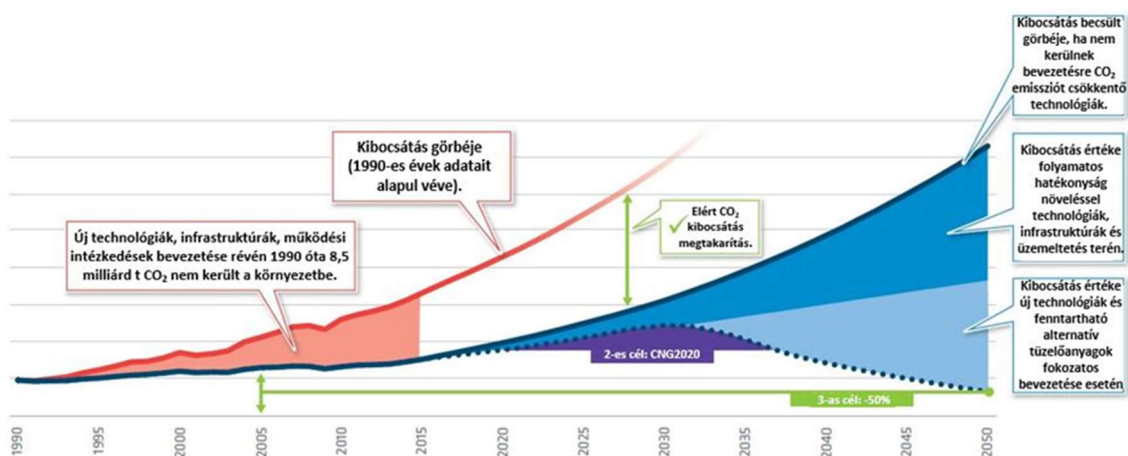


növelés), a repülőterek, légiforgalmi rendszerek és kiszolgáló infrastruktúráknak folyamatos korszerűsítésének köszönhető. A legmodernebb repülőgépek átlagosan 3,5 liter tüzelőanyagot fogyasztanak el 100 utaskilométerenként<sup>12</sup>, amely igen gazdaságosnak számít, mégis egyre több az általuk kibocsátott károsanyag, hiszen a járatok száma folyamatosan növekszik.

A szakemberek szerint jelenleg és a következő évtizedekben a kereskedelmi repülőgépeket szénhidrogénnel lehet megfelelően kiszolgálni. Emellett pár éve megjelentek az elektromos, illetve hidrogén alapú meghajtások fejlesztései. Az előbbinél már jó pár prototípus épült, több már a levegőbe is emelkedett, de a közeljövőben inkább a rövidtávú, kis utasszámú repülések lesznek megoldhatók vele. A hidrogén meghajtás bevezetését egyelőre gátolja egyfelől a nagy mennyiségben, fenntartható módon előállítandó alapanyag, továbbá a jelenlegi hajtóművek és kiszolgáló infrastruktúra áttervezésének szükségessége ehhez.

A légiközlekedéssel foglalkozó különböző szervezetek célokat tűztek ki, amelyek mind a károsanyag emisszió csökkentésére vonatkozó terveket mutatják be (15. ábra):

- a tüzelőanyag hatékonyságának átlagban 1,5%-os növelése 2009 és 2020 között;
- a nettó szén-dioxid kibocsátás csökkentése 2020-ra a karbonsemleges növekedés szempontjából;
- a 2005-ös a nettó szén-dioxid kibocsátást 2050-re 50%-kal csökkenteni.



15. ábra Szén-dioxid kibocsátások prognosztizált görbéi a különböző mértékű fejlesztések, technológiák bevezetésével. [40]

A 15. ábrán látható, hogy a prognózisban, a CO<sub>2</sub> csökkentésére céljából megjelennek a fenntartható tüzelőanyagok is. Fenntartható Repülőgép Tüzelőanyag (Sustainable Aviation

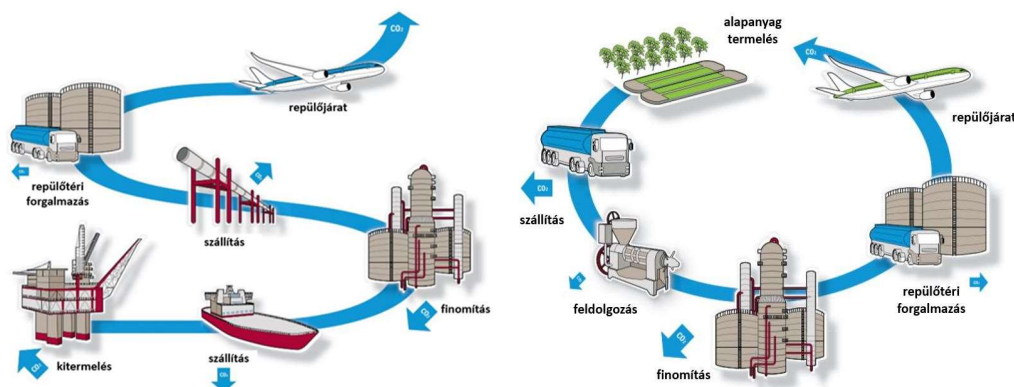
<sup>12</sup> „Utaskilométer: a személyszállítási hatékonyságának egyik mértékegysége, mely megmutatja egy utas, egységnyi távolságra történő szállításához szükséges tüzelőanyag mennyiségét.”, forrás: <http://www.ksh.hu/docs/hun/modszgyors/szamodsz06.html>

Fuel – SAF) a bio- és a szintetikus tüzelőanyagokhoz hasonlóan egy kategóriát képvisel, de egyiktől sem független teljesen. Vannak olyan fajtái, amelyek alapanyaga biomassza, és olyanok is, melyeket szintetikus úton hoznak létre. Ahhoz, hogy egy tüzelőanyag az SAF közé legyen sorolható több feltételt is teljesítenie kell:

- a jelenleg is érvényben lévő tüzelőanyagokra vonatkozó szabványban megtalálható előírásokat teljesítenie kell;
- alternatív nyersanyagokból (használt sütőzsiradék, ipari, kommunális, mezőgazdasági hulladékok, stb.) és technológiával állítsák elő, nem úgy, mint hagyományos társaikat;
- fenntartható legyen, mely szerint az éghajlatváltozást ne befolyásolja (életciklusa alatt kevesebb szén-dioxid kerüljön a környezetbe), folyamatos előállításával az ökológiai egyensúlyt ne borítsa fel, a természeti erőforrásokat ne merítse ki, de ezek mellett párhuzamosan vegye figyelembe a társadalmi, a gazdasági és a környezeti célkitűzéseket. [39]

Fontos, hogy a kereskedelmi forgalomba bevezetendő, újonnan kifejlesztett tüzelőanyagok a drop-in kategóriába tartozzanak, mert szerte a világban jelenleg is üzemelő repülőgépekben fel kell tudni használni őket.

Az SAF-ek nem karbonmentesek, így alkalmazásukkor ugyanúgy széndioxid kerül a levegőbe, de kevesebb mennyiségben, mint a fosszilis tüzelőanyagok elégetésével, továbbá egyéb szennyezőanyagok (lebegő részecskék, kén-dioxid) megjelenése is alacsonyabb. Ráadásul, ha az egész életciklusukat vizsgáljuk a nyersanyag betakarítástól, beszerzésétől egészen a felhasználásukig bezárólag, akkor akár 80%-os csökkenéssel is lehet számolni [39].



16. ábra Hagyományos tüzelőanyag (balra) és SAF (jobbra) szén-dioxid kibocsátása életciklusa során [39]

Több légitársaság létrehozott egy társaságot, a Fenntartható Repülőgép-tüzelőanyag Felhasználók Csoportját (Sustainable Aviation Fuel Users Group – SAFUG), amelynek tagjai

elköteleződtek a fenntarthatóság mellett. Ez abban nyilvánul meg a tüzelőanyag terén, hogy SAF-et alkalmaznak repülőgépeikben, ehhez kapcsolódóan a beszállítóiktól megkövetelik a fenntarthatósági bizonyítványt (Certificate of Sustainability – CoS vagy ezzel egyenértékű igazolást). Több szervezet is foglalkozik SAF-ek bevizsgálásával, illetve tanúsításával, mint például RSB (Roundtable on Sustainable Biomaterials). [39]

### **I. 2. 1. A FENNTARTHATÓ REPÜLŐGÉP TÜZELŐANYAGOK FAJTÁI**

Az SAF alapanyagai nagyon változatosak. E kategória létrehozásánál kikötötték, hogy első és második generációs biotüzelőanyagok, illetve nyersanyagaik nem tartozhatnak bele, ellenben olyan növények igen, amelyek se táplálékul, se takarmányul nem szolgálnak, illetve növekedésükhöz nem szükséges termőföld. Ilyenek például a halofiták, a sótűrő növények. Fejlődésükhöz, szaporodásukhoz feltétlenül szükséges ez az ásványi anyag, így megtalálhatók tengerpartokon, sórétek, sós mocsarak és tavak mellett, ahol más növények nem tudnak megélni. Magas olajtartalmuk miatt, melyet sajtolással nyernek ki, nyersanyagául szolgálhat az SAF-eknek.

A jatropha növény hasonlóan termőföldnek nem megfelelő talajon is megél. Magja erősen mérgező, viszont tömegének 30-40%-a olaj, így kipréselve, megfelelő előállítási technológiák során tüzelőanyag válhat belőle. A camelina vagy másnéven gomborka szintén a magas olajtartalmú energianövények közé tartozik. Kultúrnövényekkel együtt vagy vetésforgóban szokták ültetni a szántóföldekre, hogy pihentessék az adott területet. Sajtolás után a visszamaradó részek kis hányadát állati takarmányozásra alkalmazzák.

Az algák talán a legígéretesebb alapanyagok, ha tovább folynak a velük kapcsolatos kutatások, fejlesztések. Előnye ezeknek a mikrobáknak, hogy növekedésükhöz szén-dioxidot használnak fel, így csökkentve ennek a vegyületnek a jelenlétét a légkörben, továbbá termelni őket szinte bárhol lehet, akár szélsőséges körülmények között is, mint például sivatagban. Az olajhozamuk egy négyzetkilométerre vetítve 15-ször nagyobb, mint a többi biotüzelőanyag nyersanyagának [39].

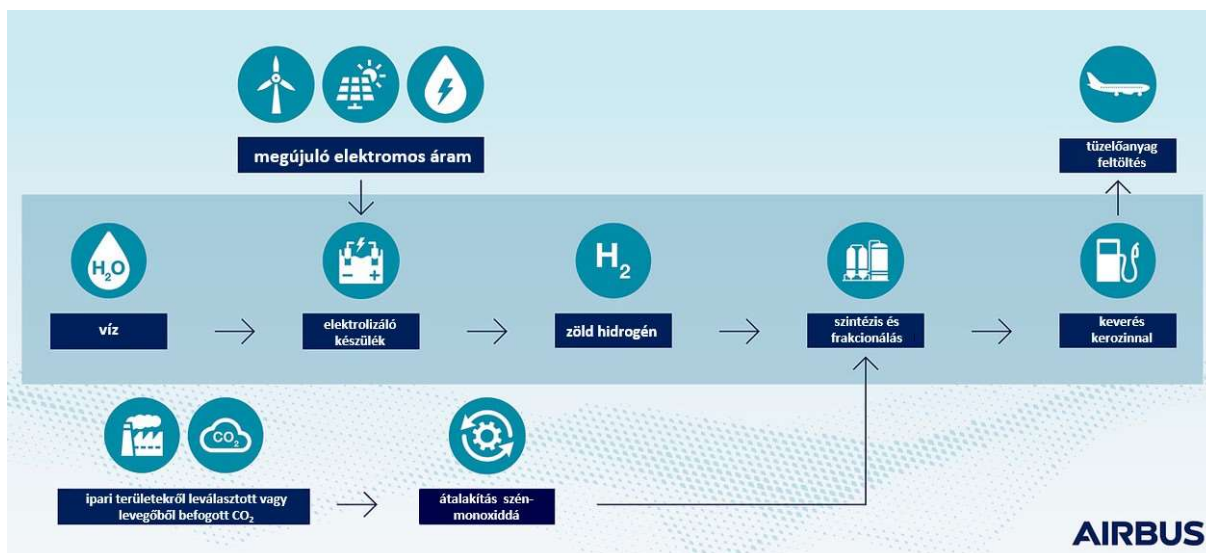
A hulladékok, melyek keletkezhetnek a lakosság által, ipari és mezőgazdasági termelés melléktermékeként jelenleg nagy gondot okoznak a környezetvédelemnek nem csak növekvő mennyiségük, hanem ártalmas hatásuk miatt is. Folyamatosan termelődnek, újabb és újabb hulladéklerakókat, tárolókat kell nyitni, hogy el lehessen őket helyezni. SAF alapanyagként jóformán az összes fajtájuk hasznosítható, így egyszerre több probléma is orvosolható velük, ha tüzelőanyagot készítenek belőlük. Ilyenek például háztartások, vállalatok által megtermelt

szemetek (élelmiszer-, zöldhulladék, műanyag és papír csomagolóanyagok, ruházat, bútorok), gyűjtőnevükön a szilárd városi hulladékok, továbbá különböző erdészeti és mezőgazdasági maradványok, (ki)termelés közben keletkező melléktermékek, illetve a használt sűrűsírakók, melyek lehetnek növényi vagy állati eredetűek. [39]

Az SAF kategóriájába tartoznak nem biológiai eredetű (Power To Liquid - PTL, Sun To Liquid - STL) tüzelőanyagok is, melyeket szintetikus úton hoznak létre. Előállításukban közös, hogy a tüzelőanyag elektromos áram segítségével vízből és szén-dioxidból jön létre. Ezek a fajták a fenntarthatóságba jól beilleszthetők, hiszen különböző iparágak melléktermékeit (pl. füstgázok) használják fel a gyártásuk során, továbbá ehhez a villamos áram megújuló energiaforrásokból is kinyerhető. Az STL még ennél is szigorúbb megkötésekkel készül: a Nap közvetlen energiáját használják fel a víz és a szén-dioxid bontásához. [39]

A PTL típusú tüzelőanyagot az ASTM által jóváhagyott Fischer-Tropsch eljárással állítják elő. Nagy előnye, hogy a jelenleg is üzemelő kiszolgáló infrastruktúrában – átalakítása nélkül – felhasználható.

A 17. ábra az előállítását mutatja be. Két fontos alapanyaga a víz és a szén-dioxid. Az utóbbi vagy a légkörből vonják ki közvetlen levegő leválasztóval (Carbon Engineering DAC berendezése), vagy az ipari folyamatok alatt/végén melléktermékként képződő füstgázt befogják, majd szén-monoxidot hoznak létre. Emellett a vizet elektrolizáló berendezésbe vezetik, amely elektromos áram hatására oxigén és hidrogén gázra bontja. Az elektrolízishez szükséges energiát megújuló forrásokból nyerik. Ha ez a feltétel teljesül, akkor zöld H<sub>2</sub>-ről beszélünk, amelyet a szén-monoxiddal szintetizálnak, majd frakcionálnak. Mielőtt repülőgépbe töltenék, kerozinnal keverik össze. Ez a keverék akár 50%-ban tartalmazhat PTL szintetikus tüzelőanyagot az érvényben lévő szabványok szerint. Jelenleg magas az előállítási költsége, így egyelőre kevés mennyiséget hoznak létre. Szakértők szerint 2025-2030 közötti időszakban fog fellendülni a termelés, amely hatására széles körben terjedhet el. [72]



17. ábra PTL tűzelőanyag előállítás [72]

A Horizon Europe az Európai Unió kiemelkedően fontos finanszírozási programja, amely az éghajlatváltozással, annak hatásaival és kezelésével, a fenntartható fejlődéssel, illetve az Unió versenyképességének növelésével foglalkozik kutatási és innovációs területeken egyaránt. A Horizon 2020 ennek része volt 2014 és 2020 között, amely keretein belül az egyik fontos fejlesztés a Nap energiáját felhasználva, termokémiai folyamatok keresztül fenntartható üzem- és tűzelőanyagot hozzanak létre, STL-t.

Az egyik ilyen a Sun-To-X projekt, amelyet kilenc vállalat és kutatási intézmény együttes konzorciuma bonyolít le. A program 2020. szeptemberében kezdődött és 2024. februárjában fejeződik be. A lényege, hogy a Nap energiájának segítségével kémiai úton energiát tudjanak tárolni. Ehhez létrehoznak HydroSil nevű molekulát hidrogénből, miután ezt újrahasznosítható szilícium-oxid alapú prekuzorral<sup>13</sup> reagáltatják. A H<sub>2</sub>-t elektrolízis útján, napenergia közreműködésével a levegő páratartalmából vagy esőből vonják ki. Ez a molekula több, mint egy évig is stabil marad, így energiátárolásra alkalmas, továbbá közlekedési eszközökben, ipari létesítményekben felhasználható tűzelőanyagként, illetve energiaforrásként. [73]

A Synhelion vállalat szintén STL előállításának fejlesztésével foglalkozik. Jelenleg a németországi Jülich városában építik első kísérleti üzemüket (18. ábra), amely 2024-ben kezdi meg a tűzelőanyag gyártást, majd 2025-ben tervezik megnyitni kereskedelmi gyáregységüket Spanyolországban. 2040-re el kívánják érni az évi 50 milliárd liternyi termelési kapacitást.

<sup>13</sup> prekuzor: olyan vegyület, mely egy másik vegyületet előállító reakcióban vesz részt. forrás: <https://hu.wikipedia.org/wiki/Prekuzor>

Több fajta üzem- és tüzelőanyagot fognak előállítani: benzint, dízelt, kerozint, hidrogént, metanolt stb. Jellemzőik, hogy a drop-in kategóriába tartoznak, megújuló energia felhasználásával állítják elő őket, életciklusuk során kevesebb CO<sub>2</sub> és károsanyag kerül a környezetbe, nagy energiasűrűségűek, hosszú ideig tárolhatóak minőségromlás nélkül, rövidebb szállítási útvonallal rendelkeznek a hagyományos tüzelőanyagokhoz képest, mert a gyártó üzemüket majdnem bármelyik országban fel lehet építeni, szén semlegesek, hiszen a légkörben jelen lévő CO<sub>2</sub>-t használják fel a termelésükhöz. [74]

A svájci Synhelion az STL előállításához a Nap által kibocsátott hőt használja fel. Heliosztátokat<sup>14</sup> (tükröket) helyeznek el a földön, amelyek feladata, hogy a rájuk érkező napsugarakat egy helyre, egy toronyban elhelyezett szoláris vevőberendezésbe juttassák. Ahhoz, hogy a legtöbb sugarat továbbítani tudják, folyamatosan követik a Nap mozgását, illetve felületüket íveltre készítik. A vevőberendezés belső felülete fekete színű, amely elnyeli a napsugarakat, felmelegszik, és az így keletkező hőt átadja a belsejében lévő vízgőznek, víznek és szén-dioxidnak, amelyek hőátadóként viselkednek. A hőmérséklet ebben a szakaszban elérheti az 1500 °C-ot. Ezt a közeget a reaktorba vezetik be, amelyben több reaktív anyaggal megtöltött csőköteg található. A berendezésen áthaladva a rendszerben jelen lévő vízből és szén-dioxidból szintézisgáz keletkezik, amelyből fenntartható tüzelőanyagot tudnak készíteni. [74]



18. ábra Synhelion vállalat DAWN nevű üzemének látványterve [74]

Gyenge pontja lehetne a rendszernek, hogy csak nappal éri a tükröket a napsugárzás, ezáltal a termelés reggeltől estig folyhatna. A vállalat erre talált megoldást: a napközben

---

<sup>14</sup> heliosztát: napállító, olyan eszköz, melynek segítségével a napsugarakat állandóan egy irányba lehet terelni.  
forrás: <http://www.kislexikon.hu/heliosztat.html>

termelődő és fel nem használt hőt eltárolják egy úgynevezett hőenergia-tárolóban. A felmelegedett közvetítő közeget a szoláris vevőberendezésből átfolyik az előbbi készüléken keresztül, átadja ennek az energiáját, majd szükség esetén pedig a folyamat megfordul, és visszatöltődik. [74]

Az SAF előállítására jelenleg öt fajta technológia létezik, és ezek alkalmazhatósága függ a felhasználni kívánt alapanyagtól. Mindegyiknek meg van az előnye és hátránya, mind különbözik a másiktól, de egy dologban megegyeznek, hogy repülőgépekben alkalmazható, kevesebb szén-dioxid kibocsátás okozó tüzelőanyag jön létre segítségükkel. A nevüket az előállítás módjukról kapták.

Előállítási módok	Nyersanyag	Jóváhagyás dátuma	Keverési arány
<b>Fischer-Tropsch szintetikus paraffin kerozin (FT-SPK)</b>	biomassza (erdészeti maradványok, szilárd városi és mezőgazdasági hulladék)	2009	legfeljebb 50%
<b>Hidrogénezett észterek és zsírsavak (HEFA)</b>	olaj tartalmú biomassza (jatropha, camelina, algák)	2011	legfeljebb 50%
<b>Hidrogénezett erjesztett cukrokból szintetizált izoparaffinok (HFS-SIP)</b>	cukor átalakítása szénhidrogénné mikrobiális módszerrel	2014	legfeljebb 10%
<b>FT-SPK aromás vegyületekkel (FT-SPK/A)</b>	megújuló biomassza (erdészeti maradványok, energianövények, mezőgazdasági és városi szilárd hulladék)	2015	legfeljebb 50%
<b>Alkoholból előállított szintetikus paraffin kerozin (ATJ-SPK)</b>	mezőgazdasági hulladékok, melléktermékek (erdészeti fahulladék, szalma, fű)	2016	legfeljebb 30%
<b>Hidrogénezett észterek és zsírsavak + (HEFA+)<sup>15</sup></b>	olaj tartalmú biomassza (jatropha, camelina, algák)	még tart a jóváhagyás	legfeljebb 50%

6. táblázat SAF-ek előállítási módjai és fajtái [39]

A 6. táblázat bemutatja az SAF jelenlegi előállítási módjait, az ehhez kapcsolódó lehetséges nyersanyagokat, az ASTM szerinti jóváhagyás dátumát, melyik évtől lehet alkalmazni őket a repülésben. Jól látható, hogy egyelőre önmagukban nem felhasználhatók, de meghatározott százalékos arányban keverhetők kerozinnal.

## I. 2. 2. A FENNTARTHATÓ REPÜLŐGÉP TÜZELŐANYAGOK FŐBB GYÁRTÓI

Egyre több kutató laboratórium foglalkozik az SAF-ek előállítási technológiájával, valamint vállalat kezd SAF előállításba világviszonylatban. Növekszik azon légitársaságok és repülőterek száma is, amelyek ennek az alternatív tüzelőanyagnak és hagyományos kerozinnak

<sup>15</sup> HEFA+: más rövidítés esetén HFP-HEFA (HPF: High Freezing Point), a HEFA-tól alacsonyabb dermedésponttal rendelkezik és hosszabb szénhidrogén láncokkal rendelkezik. Befejezetlen HEFA-nak is szokták nevezni. Olcsóbban és könnyebben előállítható a HEFA-nál. forrás: <https://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:956135/FULLTEXT01.pdf>

a keverékét alkalmazzák. Az 1. mellékletben szereplő táblázat az ICAO által támogatott tüzelőanyagok 2019-ben megjelent dokumentumából származik. Bemutatja (a teljesség igénye nélkül), hogy jelenleg milyen cégek gyártanak, forgalmazznak, mekkora tételben SAF-eket, melyek azok a repülőterek a világon, ahol elérhetőek. Érdekesség, hogy most már jelen vannak ennek az alternatív tüzelőanyagnak a kiszolgálási és elosztási infrastruktúrájában olyan cégek is, amelyek eddig csak fosszilis eredetű üzemanyagokat forgalmaztak, mint például a Shell, az Air bp vagy az Air Total.

A Honeywell UOP vállalat nevéhez a Green Jet Fuel fűződik, mely 50%-ban keverhető fosszilis eredetű társával, a drop-in kategóriába tartozik, alkalmazásával az üvegházhatású gázok légkörbe jutásának mennyisége 65-85%-kal csökken, és nagyobb energiasűrűséggel rendelkezik. Katonai és kereskedelmi célú tesztrepüléseket is folytattak ezzel a tüzelőanyaggal 2008-tól kezdve. Nagy légitársaságok (KLM, Japan Airlines, United Airlines) mellett a Boeing és a NASA is kipróbálta a Green Jet Fuel-t. Az Amerikai Egyesült Államok Légierője és Haditengerészete szintén részt vett a tesztelésekben helikoptereivel (MH-60S Sea Hawk), vadászbombázó repülőgépeivel (F/A-18 Green Hornet), szállító repülőgépeivel (C-17 Globemaster III). A társaságnak ezen alternatív tüzelőanyaga a biotüzelőanyagok egyik alfejezetében is szerepelt, mert egy újonnan létrehozott repülőgép hajtóanyag akár több kategóriába is bekerülhet, ha a rájuk vonatkozó követelményeknek eleget tesz.

Egy másik kiemelkedő vállalat az SAF gyártásában a Neste Oyj, székhelye Espooban, Finnországban található. Fenntartható tüzelőanyaguk a MY Renewable Jet Fuel nevet viseli, és a HEFA kategóriába tartozik, teljes mértékben fenntartható és megújuló forrásokból származik. Jelenleg tíz féle nyersanyaggal dolgoznak, amelyek nagyrésze hulladék (használt sütőzsiradék, növényi olajok, állati faggyú). Alkalmazásával akár 80%-kal is csökkenthető a károsanyag kibocsátás egész életciklusára vetítve. A repülőtéri földi kiszolgáló gépjárművekbe a Neste a Renewable Diesel üzemanyagát ajánlja. 2016-tól már elérhető a vállalat SAF-je az Osloban található Gardermoen repülőtéren, ahol a Lufthansa, a KLM és a SAS légitársaságok innen induló járataikat ezzel a tüzelőanyaggal tankolják fel. Azóta a Neste tovább terjeszkedett. Alternatív tüzelőanyaga már elérhető a dallasi Fort Worth, San Francisco nemzetközi repülőtéren, együttműködést kötött a Boeing-gal, az Air bp-vel is. [75]

Dániában több nagyvállalat összefogott egy üzem felépítéséért, amely hidrogént és úgynevezett e-tüzelőanyagot állít majd elő, így kiszolgálva a közúti, a légi és a tengeri közlekedést. A résztvevők: a Koppenhágában található repülőterek, az A. P. Moller - Maersk, a DSV Panalpina, a DFDS, a SAS és az Ørsted. A gyár a tervek szerint idén, 2023-ban adják át



az üzem, és 2030-ra kibővítik teljes gyártási kapacitást, amely évente 250 000 t fenntartható üzemanyagot jelent. Ehhez kapcsolódik az elektrolizáló berendezés 1,3 GW teljesítménye, amely a világon a legnagyobb lesz. Az üzem által megtermelt üzemanyagok alkalmazását alapul véve számítások szerint évente 850 000 t-val kevesebb szén-dioxid kerül majd a légkörbe, így segítséget nyújt, hogy Dánia 2030-ra 70%-kal csökkentse szén-dioxid kibocsátását az 1990-es évek szintjéhez képest a közlekedés terén. A gyárban megújuló hidrogént fognak előállítani. Ehhez a nagy mennyiségű villamos energiát Rønne Banke-ból szerzik be, ahol ezt a szél segítségével hozzák létre. A legyártott alapanyagból üzemanyag készül buszok (Movia), tehergépkocsik (DSV Panalpina) számára, megújuló tüzelőanyag (e-kerozin) a SAS légitársaság repülőgépei, illetve a koppenhágai repülőterek kiszolgálására, és megújuló metanol hajók (A.P. Moller – Maersk) részére. [76]

A világon elsőként Hollandiában, Delfzijl városában épül fel egy biotüzelőanyagokat előállító gyár, három vállalat (KLM Holland Királyi Légitársaság, SkyNRG, SHV Energy) közös projektjeként (DSL-01). Elsősorban repülésben alkalmazható tüzelőanyagot fog előállítani évente 100000 t mennyiségben, illetve emellett 15000 t bioLPG-t is, mely utóbbi melléktermékként jelenik meg. Ha a gyár által előállított teljes mennyiségű SAF felhasználást vesszük figyelembe, akkor a számítások szerint 270000 t széndioxiddal kerül kevesebb a légkörbe. A gyár tervezet szerint alapanyagként főként helyi hulladékot, különböző maradványokat használ fel, amelyből SAF-et, bioLPG-t és könnyűbenzint állítanak elő. [77] Hulladékként és maradványként szolgálnak például a használt sütőzsiradék, de élelmiszernövények, továbbá a PFAD<sup>16</sup>, illetve melléktermékként a POME-t<sup>17</sup> is kizárják, így az elkészült végtermék megkaphatja az RSB minősítést. Ennek a tanúsításnak tizenkét alapelve van, széles skálán öleli fel a fenntarthatósághoz kapcsolódó területeket, amelyek magukban foglalják az üvegházhatású gázok kibocsátásától kezdve, az emberi jogokon keresztül a víz felhasználás lehetőségeit. A DSL-01 fenntartható forrásból származó hidrogénnel fog üzemelni, melyet megújuló energiaforrások (nap, szél) segítségével állítanak elő, így a későbbiekben létrehozott tüzelőanyag alkalmazásával 85%-ban csökkenthető a légkörbe kerülő széndioxid mennyisége, mint a fosszilis eredetűek használatával. Emellett további előnye az SAF-nek, hogy a kén, illetve az ultrafinom lebegő részecskék kisebb mértékben kerülnek belőle a környezetben. [77]

---

<sup>16</sup> Palm Fatty Acid Distillate - pálma zsírsav desztillátum.

<sup>17</sup> Palm Oil Mill Effluent- pálmaolaj malom elfolyó szennyvizének kibocsátása.

A tervek szerint az üzem 100000 t tüzelőanyagot termel, amelyből a KLM 75000 t-t tervez felvásárolni évente, a szerződés szerint 10 éven keresztül. Számítások szerint így, e tüzelőanyag a használatával ~200000 t széndioxiddal kevesebbet fognak kibocsátani a repülőgépek a légkörbe, amely számszerűen megfelel 1000 járatnak Amszterdam és Rio de Janeiro között. A KLM világon elsőként fektet be ilyen nagymértékű beruházásba, hiszen fontos vállalata számára a környezetvédelem. [77]

Természetesen a három fő partneren kívül több vállalat, befektető is jelen lesz az üzem építésének különböző szakaszaiban: Amszterdami Schiphol Repülőtér, EIT Climate-KIC, Royal Schiphol Group, GROEIFonds, NV NOM, Groningen Seaports, Nouryon, Gasunie, Arcadis, TechnipFMC, Haldor Topsoe, Desmet Ballestra, Susteen Technologies és MBP Solutions. [77]

Az Air bp-t főként repülőgépek tüzelőanyag ellátójaként ismertük, de egyre nagyobb hangsúlyt fektet az SAF előállítására is együttműködve légitársaságokkal, különböző szervezetekkel, üzemanyaggyártókkal. 2008. februárjától tesztrepüléseken vesz részt, támogatja ezeket folyamatosan. Fejlesztő és kutató csoportja a Johnson Matthey brit speciális vegyi anyagokkal és fenntartható technológiákkal foglalkozó vállalattal együtt kifejlesztett egy olyan fajta Fisher-Tropsch technológiát, amely egy költségkímélőbb, egyszerűbb folyamatok révén érhető el a végtermék a hagyományos eljáráshoz képest. További előnye, hogy kis és nagy mennyiségeknél is gazdaságosan működik. Az Air bp szakemberei részt vettek/rész vesznek az SAF tanúsítási folyamatainak, repülésbiztonsági előírásainak kidolgozásában az ASTM iparági testületeiben. [78]

2016-ban stratégiai partnerséget kötött a Fulcrum Bioenergy vállalattal, amely kimondja, hogy az utóbbi vállalat 50 millió gallon (US) fenntartható tüzelőanyaggal látja el az Air bp-t évente. Ezt az üzemanyagot használt sütőzsiradékokból és háztartási, városi hulladékokból fogják előállítani. Ugyanebben az évben az első olyan üzemeltető volt a cég, amely biztosította az SAF-et a meglévő kiszolgálási infrastruktúráján keresztül az oslo-i repülőtéren. [78]

Az Air bp-nek három forrást használ a fenntartható tüzelőanyag beszerzésére: közvetlenül egy másik gyártótól veszi meg az üzemanyagot, előállító üzemekbe fektet be, illetve a saját finomítóiból, létesítményeiből szerzi be, így biztosítva a folyamatos ellátást. A spanyol Castellón városában található gyáregysége a világon elsőként kapta meg az ISCC

CORSIA<sup>18</sup> tanúsítványt 2021. októberében, míg a cég 2016 óta független szén-dioxid-semleges tanúsítvánnyal rendelkezik az üzemanyag-feltöltési műveletekre az összes telephelyén. Jelenleg 3 kontinensen 20 helyre szállít az Air bp SAF-et, amelyet használt sütőolajokból és állati zsiradékból állít elő. [78]



19. ábra Air bp fenntartható tüzelőanyaga tankolása ra készen [78]

### I. 2. 3. A FENNTARTHATÓ REPÜLŐGÉP TÜZELŐANYAGOK ALKALMAZÁSA

Egyre több légitársaság is törekszik a szén-dioxid kibocsátás csökkentésére, ellentételezésére a járatain. Az Easyjet a jövőben azt tervezi, hogy az általa alkalmazott tüzelőanyagok a Gold Standard, illetve a Verified Carbon Standard minősítéssel rendelkezzenek, melyek ellentételezési programjaival különböző környezetvédelmi projekteket tud támogatni. A KLM és a Neste vállalat szerződést írt alá használt sütőzsiradékból származó SAF beszállításáról. A légitársaság ezzel az alternatív tüzelőanyaggal látja el a Schipholból (Amszterdam) induló járatait. 2020. január 1-jétől az Air France is a hazai járatainak szén-dioxid kibocsátásának ellensúlyozására törekszik különböző tanúsított projektek, de akár az utasok által finanszírozott fa ültetés segítségével is. Terveik szerint 2030-ra a 2005-ös szint felére csökkentik utasonként és megtett kilométerenként a szén-dioxid kibocsátást, amely 450 belföldi járatukat fogja érinteni. A Qantas cégcsoport (Qantas, Qantaslink, Jetstar) szintén elkötelezte magát a környezetbarát repülés mellett. Vállalásaik között szerepel, hogy 2020-ra mérsékli a nettó szén-dioxid kibocsátását, 2050-re pedig ezt az értéket nullára kívánják csökkenteni. Ezt úgy akarják elérni, hogy a hosszútávú járatainak (Londonba, New Yorkba) károsanyag emisszióját ellensúlyozza, továbbá a belföldi repülő útjait szén-dioxid semlegessé

---

<sup>18</sup>ISCC (International Sustainability and Carbon Certification): Nemzetközi Fenntarthatósági és Szén-dioxid Tanúsítvány

teszi. Továbbá a Qantas tervezi az állami és a magánszektorral történő együttműködést az SAF ipar fellendítésében, ezen alternatív tüzelőanyag elterjesztésében, amelyre az elkövetkezendő 10 évben 50 millió ausztrál dollárt fog elkülöníteni, így támogatva a fejlesztéseket. [79]

2018 nyarán a Holland Királyi Légierő megkezdte a fenntartható forrásokból származó (használt sütőzsiradék) tüzelőanyagok tesztelését vadászrepülőgépein, hogy azt a katonai légiközlekedésbe is be tudják illeszteni, illetve, hogy csökkentsék az általuk kibocsátott szén-dioxid mennyiségét. Ennek eredményeképpen már F-16-on alkalmaztak ebből az üzemanyagból 5%-os keveréket, mely a World Energy gyár kaliforniai üzemében készült. A beszerzésben és a szállításban a SkyNRG és a Shell Aviation vállalatok segítettek, és tesztelésre a Leeuwarden légibázisán került sor. Ennek a tüzelőanyagnak az alkalmazásával 60-80%-kal lehet csökkenteni a szén-dioxid kibocsátást. A Holland Királyi Légierő tervei között szerepel, hogy egyre nagyobb arányban használja ezt a tüzelőanyagot légijárművein, továbbá 2030-ra le kívánják csökkenteni a fosszilis tüzelőanyag felhasználását 20%-kal, míg 2050-re 70%-kal. [80]



20. ábra A Holland Királyi Légierő egyik F-16-osa SAF és hagyományos tüzelőanyag keverékével tankolva Leeuwarden légibázisán (fotó: SkyNRG) [80]

A GKN Aerospace Sweden vállalat az RM12 hajtómű típusalkalmassági bizonyítványának tulajdonosa, így ő folytatta le a biotüzelőanyag, illetve az ezzel a hajtóanyaggal közvetlenül érintkező hajtómű-részekkel kapcsolatos teszteléseket, próbákat. A vizsgálatok során fele-fele arányban keverték a hagyományos tüzelőanyagot az alternatívval.

Az első tesztrepülésre 2017 márciusában került sor. Az alkalmazott alternatív tüzelőanyag a CHCJ-5<sup>19</sup> volt, amelyet az ARA amerikai vállalat fejlesztett ki az USN/NAVAIR (United States Navy/ Naval Air Systems Command) számára. A tesztre kiválasztott repülőgép egy Gripen C/D lett RM12-es hajtóművel felszerelve, amely sikeresen, kitűnő teljesítménnyel, 100% biotüzelőanyaggal ellátva teljesítette a földi és a légi teszteléseket [81], mely a magyar Honvédség számára is meghatározóan fontos információ.



21. ábra ATJ-SKA biotüzelőanyaggal repülő Gripen (fotó: SAAB) [81]

A Brit Királyi Légierő (Royal Air Force – RAF) 2040-re tervezi a szén-dioxid kibocsátásának nullára történő csökkentését a környezetvédelem és a klímaváltozás megelőzésének érdekében. Ezekhez különböző célkitűzéseket fogalmazott meg a Net Zero stratégiáján belül: repülőgépekben szintetikus és/vagy fenntartható tüzelőanyagokat alkalmaz, elektromos légijárművek fejlesztését támogatja, alternatív energiaforrásokat (geotermikus és napenergia) használ, természetvédelmi fejlesztéseket folytat légibázisain, egyszerhasználatos műanyagok mennyiségét, illetve a munkahelyi utazások számát csökkenti, a kiszolgáló épületek fűtését korszerűsíti stb. [82]

A RAF a Martin projektjének keretén belül kutatja az SAF felhasználási lehetőségeit. Tesztrepüléseket is végrehajtottak, amelyhez a fenntartható tüzelőanyagot a Zero Petroleum vállalat biztosította vízből és légköri szén-dioxidból megújuló energiaforrások segítségével előállítva. 2021. novemberében egy Ikarus C42-es ultrakönnyű repülőgépet (22. ábra) kizárólag szintetikus UL91-es repülőbenzinnel tankoltak meg, majd sikeresen végrehajtották a repülést.

---

<sup>19</sup> CHCJ-5 (Catalytic Hydrothermal Conversion Jet fuel): a HEFA-k csoportjába tartozó katalitikus hidrotermikus átalakítás során létrehozott sugárhajtómű tüzelőanyag, melynek alapanyaga a repecolaj. <https://www.greencarcongress.com/2017/04/20170406-gripen.html>



22. ábra Ikarus C42 ultrakönnyű repülőgép repülése SAF-fel [82]

2022. novemberében egy újabb tesztrepülést hajtottak végre a Brize Norton légibázison. Ezen jelen volt a RAF-on kívül a DE&S szervezet, továbbá az Airbus, a Rolls-Royce, az AirTanker (brit repülőgép-lízingelő és üzemeltető vállalat) és az Air BP. A Voyager nevű (Airbus A330 katonai változata) légi utántöltő repülőgép emelkedett a magasba a légierő pilótáival, illetve a cégek mérnökeivel, tesztszemélyzetével 100%-ban SAF-fel (nagyreszt használt sütőzsiradékból állítottak elő) megtankolva elsőként a világon ebben a katonai légi jármű kategóriában. 90 percet töltött a levegőben, amely során tüzelőanyag utántöltés szimulációt kellett végrehajtania. Ezt megelőzően természetesen több földi tesztet is elvégeztek a szakemberek, hogy kiderüljön megfelelő teljesítmény érhető-e el a fenntartható tüzelőanyag alkalmazásával, illetve repülésbiztonság szempontból is megbízható-e. [83]



23. ábra A Voyager légi utántöltő repülőgép tesztrepülése előtt [83]

2023. januárjában a Voyager újra a levegőbe emelkedett. Feladata az volt, hogy a RAF egy Typhoon vadászbombázóját és egy Hercules katonai teherszállító repülőgépét

tüzelőanyaggal szolgálja ki a levegőben. Az előző tesztrepüléséből megmaradt SAF-et 46-48%-ban kerozinnal keverték be, majd az Air BP segítségével leellenőrizték a fizikai és kémiai paramétereit, hogy megfelelő, biztonságos és hatékony legyen a tankolás során. A próba sikerrel zárult. [84]



24. ábra A Voyager SAF és kerozin keverékével tankolja fel a Typhoon vadászbombázót [85]

A RAF folyamatosan halad a kitűzött célja felé, hogy 2040-re a szén-dioxid kibocsátását nullára csökkentse. Ehhez több területen is kutatásokat folytat különböző szervezetekkel, vállalatokkal, ipari szereplőkkel. Tesztrepüléseket hajt végre több katonai repülőgép típuson szintetikus tüzelőanyagot alkalmazva, melyet használt sütőzsiradékból vagy vízből és légköri CO<sub>2</sub>-ből állítanak elő. Az elektromos meghajtást sem veti el, hanem ezzel is kísérletezik, hogy tudná a légierőn belül használni, csak úgy mint a géntechnológiával módosított baktériumokkal üzemanyag előállítására.

### I. 3. ELEKTROMOS MEGHAJTÁSÚ LÉGIJÁRMŰVEK

Újabb lehetőségként jelenik meg az alternatív meghajtások között az elektromos irányzat. Ahhoz, hogy ilyen megoldással repüljön egy légi jármű, több lehetőség is adódik:

- napelemek használatával;
- üzemanyagcella alkalmazásával;
- akkumulátoros meghajtással;
- hibrid kivitelben (hagyományos tüzelőanyag és elektromos meghajtás keveréke).

#### I. 3. 1. HIBRID MEGHAJTÁS

A fosszilis eredetű energiahordozók és az elektromos meghajtást alkalmazó légi járművek között helyezkedik el a hibrid változat. Ebben elektro- és hagyományos

belsőégésű motor biztosítja a légi jármű mozgatásához szükséges energiát. Felszálláskor és emelkedéskor, mikor a legnagyobb toló/vonóerőre van szükség, a repülőgép mindkét energiaforrását használva növeli repülési magasságát. Elérve az utazó sebességet már az elektromos meghajtás érvényesül, a hagyományos motor pedig az akkumulátorok töltését szolgálja. Ez a rendszernek együtt alacsonyabb kerozin fogyasztása és zajterhelése. A közelmúltig csak kisgépes repüléseknél alkalmazták ezt a lehetőséget, mint például a Stemme vállalat S6-os repülőgépénél, de jelenleg a kisebb méretű utasszállítóknál is megjelentek ezek a megoldások. [86]

### *E-Fan X*

Ebbe a kategóriába sorolható az Airbus, a Rolls-Royce és a Siemens vállalatok által létrehozott E-Fan X repülőgép, mely elektromos meghajtó rendszerének alkatrészeit 2016-ban kezdték el fejleszteni. A prototípus alapját a BAe 146-os (újabb nevén: British Aerospace RJ100) képezi, mely egy négy sugárhajtóműves, közepes hatótávolságú repülőgép. Terveik szerint az egyik hajtóművet egy 2 MW-os (2700 LE-s) Siemens elektromos motorra cserélik le, melyet a Rolls-Royce 2 MW-os generátora kapcsol össze az AE2100 gázturbinával (25. ábra). A Siemens volt a felelős az előbbi villanymotor táplálásáért, a DC/DC, feszültség átalakítóért (inverter), illetve az áramelosztó rendszerért, míg az akkumulátorokért pedig az Airbus. [87][88][89]

A 2017-ben indult fejlesztési programot az Airbus és a Rolls-Royce közös megegyezéssel 2020 áprilisában beszüntette, viszont továbbra is folytatnak kutatásokat a repülés karbonsemlegessé tételére. [90]



25. ábra E-Fan X hibrid repülőgép [91]

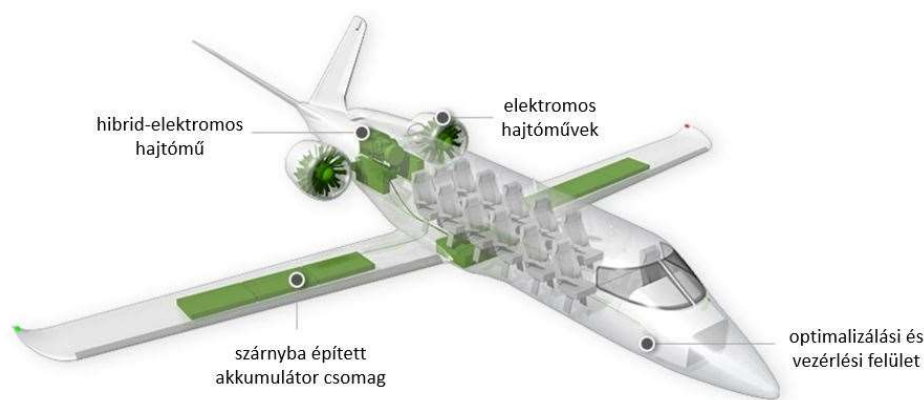


## Zunum

Az amerikai Zunum Aero vállalat forradalmasítani szeretné a rövid távolságú, helyi repülést. Elképzelésük és fejlesztéseik szerint a cél, a nagysebességű repülés megvalósítása, akár kétszer-négyszer kevesebb idő alatt megtenni egy utat úticélig, mindezt úgy, hogy mellette jóval alacsonyabb legyen a repülőgépek károsanyag (80%-kal) és zaj (75%-kal) kibocsátása. Továbbá szeretnék a nagy repülőterekig vagy repülőterektől történő utazási időt is csökkenteni, ezért másodlagos repülőtereket is terveznek a hálózatukba bekötni. Így ezzel, mint hatótávolság optimalizálással, illetve a hibrid-elektromos repülőgépeikkel 40, de akár 80%-os útiköltség csökkentést tudnának elérni. [92]

A repülőgépük (26. ábra) 12,8 m hosszú, 5,5 m magas, szárnyfeszítávolsága 15,9 m, benne 12 utasnak van hely. A maximális repülési magassága 7620 m, sebessége 547 km/h, hatótávolsága pedig 1127 km. A hajtásláncot, melynek termelési kapacitása ~1 MW, úgy tervezték meg, hogy a teljes elektromos meghajtásra utólagos mechanikus szerelés nélkül át lehessen állni, így a törzs is elő van vezetékelve. A hajtóműveket (Safran Ardiden 3Z) elektromos motorokkal és szabályozókkal látják el, és a fedélzeten egy 500 kW-os fedélzeti generátor is helyet kapott. A szárnyban kompozitból készült dobozok vannak, melyekbe akkumulátor csomagok kerülnek (a repülőgép össztömegének 12-20%-át teszik ki), mindig annyi és olyan teljesítményűek, melyek az adott repülési útvonalhoz megfelelő. Mivel moduláris a kialakításuk, így könnyen ki-, beszerelhetők, cserélhetők. Az optimalizálási és vezérlőfelület meg tudja határozni a repülés során az optimális energiafelhasználást, felügyeli a repülőgép energiaforrásait, valós idejű energiagazdálkodást, hibafeltárást és elhárítást végez. A hagyományos repülőgépekhez viszonyítva rövidebb futópályára van szüksége fel- (671 m) és leszálláshoz (762 m). A repülőgépet 20 éves élettartamra tervezik, melynek fejlesztésében a Boeing és a jetBlue vállalatok is részt vettek. [92][93]

2019 júliusában a cég anyagilag megroppant a nem teljesített vállalások, így az elmaradt, ígért befektetések miatt is, ezért több gyáregységből kellett elbocsátania az alkalmazottjait. [94]



26. ábra Zunum hibrid repülőgép [95]

### I. 3. 2. NAPELEMES REPÜLŐGÉPEK

A Nap energiája korlátlanul rendelkezésünkre áll, a repülés pedig egy igen erőteljes energia felhasználású közlekedési ágazat, így logikusnak tűnik, hogy a napfényt használjuk a légijárművek meghajtásához, mindezt egy megújuló, környezetbarát energiaforrásból. Ehhez napelemeket lehet alkalmazni, amely az elektromágneses sugárzást elektromos energiává alakítja át. Mára elérték azt a fejlettségi szintet, hogy működésükhöz nem kell közvetlen napsugárzás, elég a fény is. Gyártásuk szerint két nagy csoportba sorolhatók: kristályosak és vékonyrétegűek. Az előbbinek további két fajtája létezik: mono-, illetve polikristályos cellák. Mindkét kivitel egyformán hatékony, ha megfelelő földrajzi szélességen alkalmazzák őket. Északon a polikristályos változat, míg jóval délebbre, a forró égövben a monokristályos modulok használhatók előnyösebben, de összemérve teljesítményüket az egykristályos celláknak nagyobb a teljesítőképességük.

Már az 1970-es években megjelentek olyan napelemekkel felszerelt modellrepülőgépek, amelyek és a szolár energiát használták repülésükhöz. Bő tíz év múlva, 1981-ben a Solar Challenger egy emberrel a fedélzetén átrepülte az Angliát és Franciaországot elválasztó csatornát. Két darab, egyenként 3 LE-s (2,2 kW-os) motor hajtotta meg. Ezt követte 1990-ben a Sunseeker, mely az Amerikai Egyesült Államokat szelte át nyugatról kelet felé többszöri le- és felszállással. Későbbiekben továbbfejlesztették ezt a típust, és létrehozták a Sunseeker Duo-t. Eközben a németek kifejlesztették az Icaré II elnevezésű napelemes repülőgépet, mely lítium-polimer akkumulátoraival 1200 m-es magasságba is tudott emelkedni.

#### *Helios UAV*

A pilóta nélküli légijárművek (unmanned aerial vehicles – UAV) kategóriájában is elindult a fejlesztés a napenergia hasznosításával kapcsolatban. A NASA részére építette meg

az AeroVirement vállalat a Helios repülőgépet (27. ábra), melynek elődjei a Pathfinder, a Pathfinder Plus, illetve a Centurion voltak.

Ennek az UAV-nek két típusát is létrehozták: a HP01-et és a HP03-at. Nem csak a motor-darabszámukban különböztek egymástól (HP01 14 db, HP03 10 db), hanem abban is, hogy a második prototípust az akkumulátorok mellett már üzemanyagcellával is felszerelték. Utóbbiak biztosították a HP03 repülőgépeknek, hogy nappal repülni tudjon. Az esti levegőben tartózkodáshoz már az üzemanyagcelláit (18 kW-os) használta, melyeket hidrogénnel (tartályban magával szállított), illetve légkörből származó oxigénnel tápláltak meg. Az egész nap létrejövő és fel nem használt áramot a lítium ionos akkumulátoraiban tárolta, ahonnan ki tudta nyerni. A Helios először 1999-ben emelkedett a levegőbe (maximális repülési magassága 29523 m), 2001-ben pedig már több mint 40 percet volt képes folyamatosan a levegőben tartózkodni. [96]



27. ábra 14 motoros Helios HP01 [97]

### *Solar Impulse 2*

A napelemmel felszerelt repülőgépek közül kiemelkedik a Solar Impulse 2 (28. ábra), amely két pilótával (Bertrand Piccard és André Borschberg folyamatosan váltották egymást) körbe repülte a Földet. ~35000 km-es út 2015. március 9-én vette kezdetét, majd 2016. július 23-án fejeződött be 16 szakaszra bontva. A repülőgép szárnyfesztsávolsága 71,9 m, amely nagyobb a Boeing 747-énél. A vízszintes-, függőleges vezérsíkokon, a törzsön és a szárnyon 17248 darab monokristályos napelemet helyeztek el 269,5 m<sup>2</sup>-en, amelyek vagy a 633 kg össztömegű lítium-polimer akkumulátorokat töltötték és/vagy a négy darab egyenként 13 kW-os (17,5 LE-s) elektromos motorokat hajtották meg. A pilótafülke 3,8 m<sup>3</sup>-es, egyszemélyes kivitelű, melyben helyet kapott az ágyá és toaletté átalakítható ülés, az oxigénpalackok, illetve egy mentőkonténer. A repülőgép robotpilótával, kondicionáló és túlnyomásos rendszerrel történő ellátása szóba sem kerülhetett az energiaigényük miatt. [98]



28. ábra Solar Impulse 2 [99]

### Zephyr UAV

A katonai és a polgári felhasználású Zephyr UAV-t a QinetiQ vállalat alkotta meg, de később az Airbus Defence and Space folytatta továbbfejlesztését. E repülőgépekkel - a napelemes energiaellátás néhány év alatt bekövetkezett, további fejlődése eredményeként - lehetővé vált egy új repülőeszköz kategória, a pszeudó műholdak (*HAPS, High Altitude Pseudo-Satellites*) megjelenését. Ezek olyan, rendszerint felderítő vagy mikrohullámú átjátszó funkciójú, napelemekkel táplált, speciális UAV-k, melyek a jelenlegi repülőgépek (és drónok) számára túlzottan magas, a műholdak számára túlzottan alacsony, azaz  $H > 20$  km-es repülési magasságú tartományban működnek, folyamatos, leszállás nélküli 15-120 napos repülési idővel.

Ennek már létező kísérleti légi jármű az Airbus Zephyr-S, 75 kg saját tömegű, 25 m fesztávú drón néhány tíz kilógramm teherrel, 3 hónapon keresztül képes a levegőben maradni,  $H \approx 21$  km repülési magasságban. Éjszakai működését a napközben napelemeivel utántöltött akkumulátorok biztosítják. (29. ábrán az alsó repülőgép)

A 6-os számú prototípus az USA hadsereg bemutatóján 2008-ban csúcst döntött: 82 órát tartózkodott folyamatosan a levegőben, de később 2010-ben a 7-es számú fejlesztés még ezt is túlszárnyalta 336 óra 22 perces idejével.



29. ábra Airbus Zephyr-S és Zephyr-T pszeudo műholdak [100]

Jelenleg Zephyr S jelű (8-as gyártási változata) fejlesztésnél tart az Airbus, mely nagy magasságú, akár 21300 m-en, történő repülésekre is alkalmas egy hónapon keresztül, így elkerülve a hagyományos légiforgalmat [100]. Alkalmazható polgári, katonai, biztonsági feladatokra, mint például határőrzésre, környezetvédelemre, felderítésre, navigációra stb.

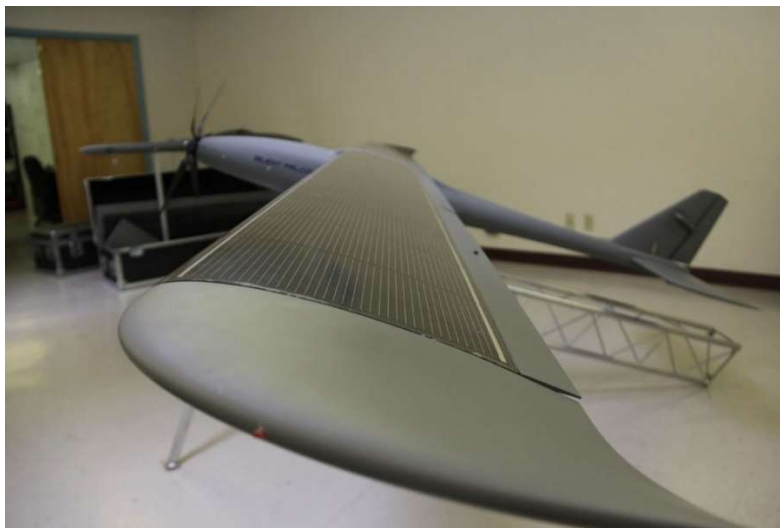
A brit védelmi minisztérium által szolgálatba állította továbbfejlesztett nehezebb Zephyr-T modellt, (saját tömege 140 kg, fesztávolsága 33 m) repülési magassága 21 km és 3 hónapi képes folyamatosan, leszállás nélkül repülni (29. ábrán a felső). Alkalmazható katasztrófhelyzetekben, kutatásra, pl. olajfolt, erdőtüz terjedésének megfigyelésére, de internetkapcsolatot is biztosíthat 125 km<sup>2</sup>-es övezetben és/vagy a közönséges rádiótelefon hatótávolságát 300 km-re növeli. Határszakaszok is ellenőrizhetők vele és más katonai célokra is bevethető.

Ezáltal részben kiválthatják a nehezkesebben és költségesebben pályára állítható (és huzamosan ott tartható) műholdakat, illetve olyan feladatokat is elláthat, melyek jelenleg, a gyorsan lemerülő akkumulátorokkal működtetett drónokkal nem valósíthatók meg.

#### *Silent Falcon UAV*

A Silent Falcon szintén egy napelemmel működő UAV (30. ábra), melyet a Bye Aerospace vállalat fejleszt. 2014-ben repült először, távvezérelve, később már önállóan. Szénszálas kompozit anyagból készült, össztömege 14,5 kg, nyílt interface rendszere miatt különböző érzékelők (EO/IR, spektrométer stb.) kamerák (gáz képalkotó MWIR, VNIR és SWIR hiperspektrális stb.) csatlakoztathatók hozzá maximum 3 kg a megoldani kívánt feladattól függően, mellyel katonai, közbiztonsági, megfigyelési (monitorozási), környezetvédelmi, katasztrófaelhárítási, de akár filmzési feladatok ellátására is alkalmas. 4,4 m fesztávolságú szárnyán helyezték el a vékony rétegű napelemeket, melyek által begyűjtött

energiát a lítium-polimer akkumulátoraiban tárolja. Hosszú hatótávolságú, akár 100 km-et is megtehet egyszerre (mesh<sup>20</sup> hálózatban), indítása katapultból történik, és a földre ejtőernyővel érkezik vissza. Nagyon csendesen működésű, 5 órán át is képes a levegőben maradni az időjárás függvényében 45-90 km/h-s sebességgel repülve. Az 1,9 m hosszúságú repülőgép tárolási helyzetből történő összeszereléséhez mindössze két ember, egy csavarhúzó és egy csavarkulcs szükséges. A NASA-tól megkapta a légi alkalmassági engedélyt, így részt vehet a pilóta nélküli forgalomirányítási programban, továbbá az Amerikai Egyesült Államok Energiaügyi Minisztériumának légiforgalmi irányítási hivatalának elfogadott üzemeltetői listáján is szerepel. 2018 júniusában a céggel szerződét kötött a Bridger Aerospace vállalat az USA Belügyminisztériumának pályázatára, melyben a Bye Aerospace-től vásárol Silent Falcon-okat légi támogatásra erdőtüzeknél, keresési, mentési munkáknál és egyéb vészhelyzetekre. [101]



30. ábra Silent Falcon napelemes UAV [102]

A fenti példából jól látható, hogy megfelelő mennyiségű napenergia begyűjtéséhez jelen technológiai fejlettség mellett nagy felületek kellenek, így tehát a helikopterek napelemmel történő ellátása a forgószárnylapátok kis felülete miatt nem lenne hatékony, továbbá a Solar Impulse 2 példájából levonva a következtetést, tisztán csak a Napból származó energiával táplálni egy utasszállító repülőgépet egyelőre lehetetlen.

### I. 3. 3. ÜZEMANYAGCELLÁVAL ELLÁTOTT REPÜLŐGÉPEK

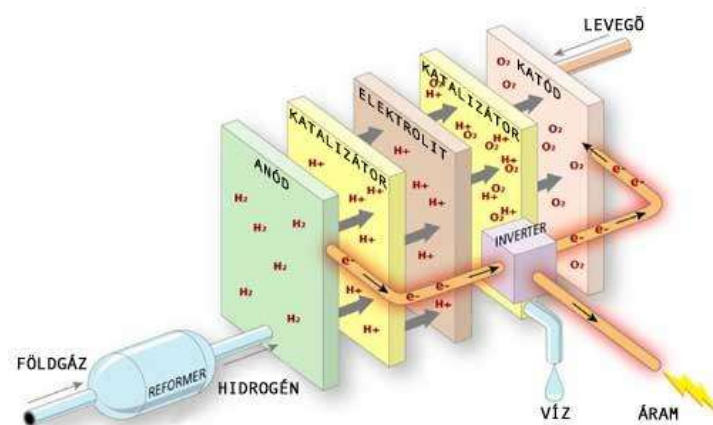
Sir William Robert Grove 1839-ben létrehozta a „gas battery” elnevezésű berendezést, amelyet az üzemanyagcella elődjének lehet tekinteni. Kénsavban helyezett el két platina

---

<sup>20</sup> „A mesh hálózat olyan hálózat, amelyben az eszközök – vagy csomópontok – össze vannak kapcsolva, elágazva más eszközöket vagy csomópontokat. Ezek a hálózatok úgy vannak beállítva, hogy hatékonyan irányítsák az adatokat az eszközök és az ügyfelek között. Segítenek a szervezeteknek konzisztens kapcsolatot biztosítani a fizikai térben.” forrás: <https://gobertpartners.com/whats-a-mesh-network>

elektrodát, majd a két oldalára egy-egy tartályt kötött hidrogén és oxigén gázzal töltve. Több tudós is tovább fejlesztette ötletét, míg végül Thomas Francis Bacon brit mérnök 1933-ban létrehozta az első olyan gyakorlatban is alkalmazható üzemanyagcellát, melyet szintén hidrogénnel és oxigénnel tápláltak. A második világháborúban a Brit Királyi Haditengerészet tengeralattjáróiba tervezett üzemanyagcellát, majd ezután 1958-ban megalkotta a lúgos változatát is ennek a szerkezetnek. Erre már a Pratt & Whitney vállalat is felfigyelt, és beépítették az Apollo program űrhajójába. A General Electric cég egyik kémikusa, Thomas Grubb, 1955-ben átdolgozta az üzemanyagcella tervét, mégpedig úgy, hogy egy ioncserélő membránt is belehelyezett a berendezésbe. A későbbiekben a NASA érdeklődését felkeltette ez az újfajta lehetőség, és a Gemini űrprogramban is alkalmazták ennek az üzemanyagcellának a továbbfejlesztett változatát, mert jó ötletnek találták, hogy a megtermelt elektromos áram mellett ivóvízzel is ellátja az űrhajósokat. [103]

Az üzemanyagcellában kémiai reakciók játszódnak le (fordított elektrolízis), melyek során az keletkező energiából elektromos áram jön létre (31. ábra). A folyamatok addig zajlanak, míg a hozzájuk szükséges alapanyagok el nem fogynak. Ebben a berendezésben található két elektróda: egy katód, melyen redukció jön létre és egy anód, ahol oxidáció zajlik, az átjárást köztük az elektrolit biztosítja, a katalizátor pedig a nyersanyagok bontását végzi elektronokra és ionokra. Hatásfokuk 40-60% között mozog, de elérheti a 85%-ot is, ha a megtermelt elektromos áram mellett az általa generált hőt is hasznosítjuk. Így hatékonyabbnak tekinthető a belsőégésű motoroknál ( $\eta=0,25$ ). Ahhoz, hogy az elvárt teljesítményt létrehozzák, ezeket a cellákat sorosan vagy párhuzamosan összekapcsolják. [103]



31. ábra Üzemanyagcella felépítése [104]

Több típusuk létezik a bennük alkalmazott elektrolitok fajtája szerint (7. táblázat), mely kihat a működésük közben keletkező hőmérsékletre, hatásfokukra, alkalmazási területeikre.

Üzemanyag cella típusa	Elektrolit fajtája	Működési hőmérséklet	Elektromos hatásfok	Üzemanyag	Felhasználási terület
<b>AFC</b> alkáli elektrolitos cella	30% kálium- hidroxid oldat, gél	80 °C	elméleti: 70% gyakorlati: 62%	- tiszta H <sub>2</sub> - O <sub>2</sub>	- járműipar - hadiipar
<b>PEMFC</b> proton áteresztő membrános	protonáteresztő membrán	80 °C	elméleti: 68% gyakorlati: 50%	- tiszta H <sub>2</sub> - O <sub>2</sub> - levegő	- blokkfűtő erőmű - járműipar - hadiipar
<b>DMFC</b> direkt metanol membrán	protonáteresztő membrán	80÷130 °C	elméleti: 30% gyakorlati: 26%	- metanol, - O <sub>2</sub> - levegő	- mobiltelefon - laptop, stb. áramforrása
<b>PAFC</b> foszforsavas cella	tömény foszforsav	200 °C	elméleti: 65% gyakorlati: 60%	- tiszta H <sub>2</sub> - O <sub>2</sub> - levegő	- blokkfűtő erőmű - áramforrás
<b>MCFC</b> alkáli- karbonátsó cella	lítium-karbonát, kálium-karbonát	650 °C	elméleti: 65% gyakorlati: 62%	- H <sub>2</sub> - földgáz - széngáz - biogáz - levegő - O <sub>2</sub>	- gőzturbinás, kétlépcsős blokkfűtő erőmű - áramforrás
<b>SOFC</b> oxidkerámia cella	yttrium-cirkon oxidkerámia	800 °C- 1000 °C	elméleti: 65% gyakorlati: 62%	- H <sub>2</sub> - földgáz - széngáz - biogáz - levegő - O <sub>2</sub>	- gőzturbinás, kétlépcsős blokkfűtő erőmű - áramforrás

7. táblázat Üzemanyagcellák típusai, tulajdonságai és felhasználási területeik [105]

Az üzemanyagcellának több előnyös tulajdonsága van az akkumulátorokkal szemben: kisebb tömeg és térbeli kiterjedés, nagyobb energiasűrűség, hőingadozásra, gravitációs és kozmikus hatásokra kevésbé érzékenyek. Utóbbiak miatt előszeretettel alkalmazzák az űrrepülésben. Környezetbarát energiaforrásnak tekinthető, hiszen legtöbb fajtájának a végterméke az elektromos áramon kívül a víz. Gáz-halmazállapotban távozik a rendszerből, mely a földfelszínen nem okoz gondot, viszont a levegőben (repülőgépekben történő alkalmazás esetén) már igen, ugyanis a vízgőz nagy magasságban az üvegházhatást okozó gáz.

A 7. táblázatból jól látható, hogy a legtöbb üzemanyagcellának az egyik tápláló kémiai eleme a hidrogén. Előállítását víz elektrolízisével (vízbontás elektromos áram hatására) történik, gőzreformálással földgázból, katalitikus reformálással oxigéntartalmú vegyületekből. E módszerek jelenleg fosszilis energiaforrásokat használnak fel, de ezek kiválthatók megújuló fajtákra, mint például a nap-, szélenergia, hulladékok bomlásával vagy biotechnológiai megoldásokkal (baktériumok segítségével) így környezetbarátabbá válnak az üzemanyagcellák is.

A hidrogén alkalmazásának vannak hátrányai is a repülésben. A kerozinhoz képest térfogategységre vetítve, még cseppfolyósítva is negyedannyi az energiasűrűsége, szállítása,

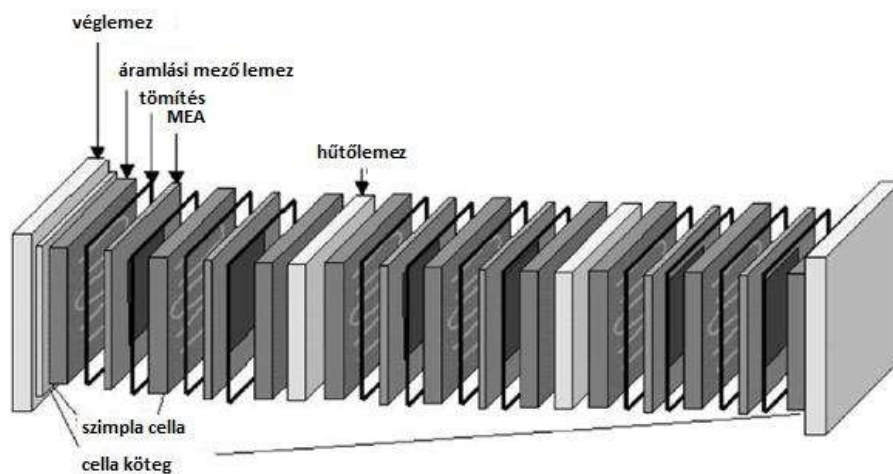


tárolása igen alacsony hőmérsékleten cseppfolyósítva, és/vagy nagy nyomáson lehetséges, ezért a beépítendő hőszigetelés vagy a nyomásálló vastagfalú tartályok megnövelik a szerkezeti tömeget.

A repülésben leggyakrabban kétfajta üzemanyagcellát alkalmaznak: a PEM (proton-exchange membrane – proton áteresztő membrános), illetve a DM (direkt metanolos).

### *PEM típusú üzemanyagcella*

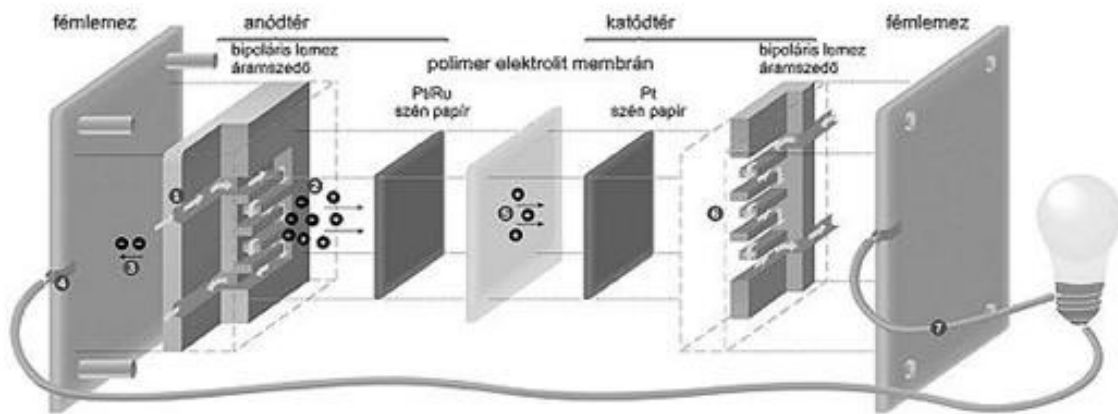
A PEM típust eredetileg a NASA Gemini űrprogramjához alkották meg, mely azóta a technológia fejlődésével egyre hatékonyabb energiaforrásnak számít. Alacsony hőmérsékleten 80°C-on működik (ennek emelésével hatásfoka növelhető), nagy energiasűrűséggel rendelkezik kiterjedéséhez és súlyához viszonyítva, továbbá gyorsan üzembe helyezhető. Táplálásához hidrogénre, oxigénre (levegőből is kinyerhető) van szükség. Három fő része van a PEM üzemanyagcellának (32. ábra): kétpólusú lemezek, tömítések, MEA (membrane electrode assembly - membrán elektróda együttes). A kétpólusú lemez feladatai közé tartozik az üzemanyag és oxidálószer elosztása, víz kezelése, áram elvezetése a cellán belül, e részek egymástól történő szétválasztása és a hőkezelés. A MEA további alkotórészekből áll: két-két diszpergált katalizátorrétegből és gázdifúziós rétegből, továbbá egy membránból, melyeknek különálló funkcióik vannak. A katalizátor alapanyaga nemesfém, főként platina, amely már önmagában növeli az üzemanyagcella előállítási költségét, ráadásul érzékeny a szén-monoxidra, amely jelenléténel szükséges egy további reaktort a rendszerbe építeni, így növelve az árát. A cellákat kötegekbe lehet rendezni, mellyel többféle teljesítményszükséglet elégíthető ki. [106][107]



32. ábra PEM üzemanyagcella felépítése [106]

### DM típusú üzemanyagcella

A direkt metanolos üzemanyagcella működéséhez 3%-os metanolos elektrolit oldatra, és oxigénre van szükség. Reakciójukból szén-dioxid, víz, hő és elektromos áram jön létre. Ebben a berendezésben (33. ábra) a katalizátor alapanyaga platina vagy ruténium és mint a PEMFC-ben, itt is megtalálható a proton áteresztő membrán. Magyar érintettség is van a DM üzemanyagcella típusban. Oláh György és Surya Prakash kutatásaik során rájöttek, hogy a reakciók megfordíthatók benne, így létrehozva a regeneratív üzemanyagcellát, mely ebben a fordított üzemmódban tárolni képes az elektromos áramot még hozzá hatékonyabban, mint az akkumulátorok. [106] Előnye ennek a berendezésnek, hogy a metanol energiasűrűsége magasabb, mint a hidrogénéé, de kisebb a hagyományos üzemanyagokhoz képest, viszont tüzelőanyag tárolási problémák itt nincsenek, mint a H<sub>2</sub> táplálású üzemanyagcellánál [107].



33. ábra DM üzemanyagcella felépítése [108]

Az üzemanyagcellákat számos előnyük miatt elkezdték alkalmazni légijárművekben, akár fő energiaforrásként a meghajtáshoz, akár kiegészítésként, hogy használatukkal kevesebb szennyezőanyag kerüljön a levegőbe, illetve, hogy ki tudják váltani a fosszilis eredetű tüzelőanyagokat. Üzemanyagcellák megtalálhatók pilóták által vezetett és pilóta nélküli repülőgépekben.

### Diamond HK36 Super Dimona

A rendelkezésre álló adatok alapján ez volt az első olyan repülőgép fejlesztés, melyben szerepet kapott az üzemanyagcella. A Boeing vállalat 2003-ban indította el a Fuel Cell Demonstrator programot, melyben résztvevőként jelen volt a madridi székhelyű BR&TE (Boeing Research and Technology Europe) cég is. A fejlesztés alapját az osztrák Diamond Aircraft vállalat által gyártott kétüléses vitorlázó repülőgép adta. Benne lítium ionos akkumulátorokat és PEM üzemanyagcellát helyeztek el, melyek a 45 kW-os teljesítményt fele-

fele arányban biztosították az elektromos motor felé. A két berendezést a nagy teljesítményigényű manőverekhez - fel-, leszállás, emelkedés – együttesen használta. 2008-ban emelkedett először a levegőbe, majd a továbbiakban csak tesztrepüléseket végeztek vele, illetve különböző kiállításokra, bemutatókra vitték. Az egyik spanyolországi kísérleti repülésénél 1000 m magasságra emelkedett, majd csak üzemanyagcelláját használva, elérve a 100 km/h-s utazó sebességet, 20 percet töltött a levegőben. [109]



34. ábra Diamond HK36 Super Dimona meghajtásának főbb részei [110]

### *Rapid-200 FC*

2006. október 1-jén vette kezdetét a három éves ENFICA-FC projekt a Torinói Műszaki Főiskola vezetésével, melynek társfinanszírozója az Európai Bizottság volt. A célul azt tűzték ki, hogy olyan üzemanyagcella alapú meghajtási rendszert fejlesszenek ki, amely-integrálható városok között közlekedő személyszállításra (kb. 10-15 fő) alkalmas repülőgépekbe. Feltétel volt a zaj- és a károsanyag kibocsátás csökkentése. [111]

A projekt alapja egy cseh gyártmányú ultrakönnnyű repülőgép volt (szerkezeti tömege 550 kg), melybe 20-20 kW-os PEM üzemanyagcellát és lítium ion akkumulátort helyeztek el (35. ábra). Első tesztrepülés 2010. május 20-án 11 percig tartott, elérve közben a 215 m-es magasságot és a 130 km/h-s sebességet. 6 nap múlva újra a levegőbe emelkedett, mely során az elektromos meghajtással rendelkező C osztályú repülőgépek között rekordot döntött 135 km/h-s sebességével. Üzemanyag celláinak köszönhetően akár 45 percig is folyamatosan a levegőben maradhatott. [112]



35. ábra Rapid-200 FC repülőgép [113]

### *Antares repülőgép család*

A német gyártmányú Antares repülőgép család első üzemanyagcellával ellátott típusa a DLR-H2-es volt (36. ábra), amelyet a Lange Aviation GmbH és a Német Légi- és Űrutazási Központ (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt – DLR) alkotott meg. Alapjául az Antares 20E motoros vitorlázó szolgált. Első bemutatkozására 2008 szeptemberében, míg első repülésére 2009 áprilisában került sor. Meghajtását hidrogén táplálású üzemanyagcella és lítium ionos akkumulátorok szolgáltatják, melyeket külön, illetve együttesen is használhat a repülőgép. Az üzemanyagcellás rendszert a szárny alá gondolatokban függesztették, melyek tömege ~60 kg, teljesítménye ~25 kW (45 kW-ig növelhető). Szárny-fesztávolsága 20 m, szerkezeti tömege 672 kg volt. A motor teljesítménye 42 kW, mellyel 170 km/h-s maximális sebességet értek el. [114][115]



36. ábra Antares DLR-H2 repülőgép [116]

A H2 repülőgéppel a kísérletek 2009-ben befejeződtek, amit 2010-ben a H3 projektje követett.

A H3 külső méretei változtak a H2-höz képest: fesztávolságát 3 m-rel megnövelték, a törzse is hosszabb lett, 750 kg-ra nőtt a szerkezeti tömege (37. ábra). A meghajtást fejlesztve

két üzemanyagcellás rendszerrel is felszerelték a repülőgépet, melyek, mint az elődjénél a szárny alatti külső gondolákban kaptak helyet, de nem kettőben, hanem négyben, és meghajtását csak ezek a berendezések látják el. Az üzemanyagcellák teljesítménye 36 kW, melyek HT<sup>21</sup> PEM típusúak, és mellettük metanol reformert is elhelyeztek. Emiatt a hatótávolsága 5400 km-re, repülési ideje pedig 40 órára növekedett. Első tesztrepülésére 2011-ben került volna sor, de elhalasztották. A repülőgép pilótával, de UAV-ként is repülhet. [114][117]



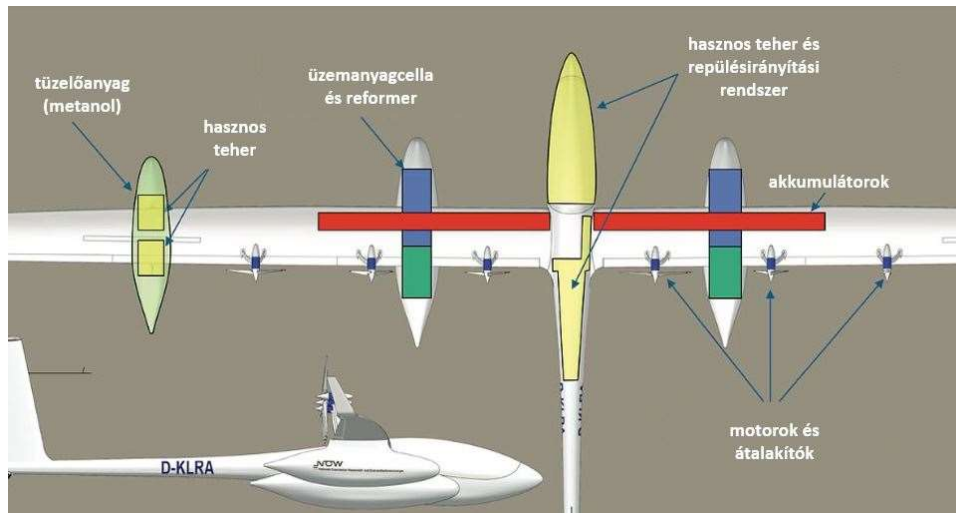
37. ábra Antares H3 repülőgép [117]

A fejlesztések és törekvések tovább folytatódtak a Lange Aviation vállalatnál, és 2018. április 17-én AERO kiállításon Friedrichshafenben mutatták be a kezdődő projektjüket E2 néven, melyről pozitív visszajelzést kaptak a fejlesztők. Márciusban a repülőgép sárkány fő részei, mint a (szárny, törzs stb.) elkészültek és az üzemanyagcellákat, DC/DC konvertert is sikeresen tesztelték. Az összeszerelést 2019 elején kezdték meg. [118]

Az E2 külső méretei közel akkorák, mint a H3-é, eltérés a hajtásrendszerében található (38. ábra). 6 db elektromos motor, egyenként 15 kW teljesítményűek, tartókon található meg a légsavarjaikkal együtt a szárny felett. Őket 6 párhuzamosan működő üzemanyagcella (6 x 6,7 kW teljesítmény) rendszer látja el elektromos árammal, mely összeköttetésben van a lítium ionos akkumulátorral (légnyomásváltás nem befolyásolja működésüket), illetve a metanol reformerrel.

---

<sup>21</sup> Magas hőmérsékletű (High Temperature – HT). Míg a PEM üzemanyagcellák működési hőmérséklete 80°C, addig a HT PEM típusúaknak 130-220 °C között van. (forrás: [https://www.zsw-bw.de/fileadmin/user\\_upload/PDFs/Vorlesungen/est3/WS\\_2017/Seminar-Notes/LTPEM\\_vs\\_HTPEM.PDF](https://www.zsw-bw.de/fileadmin/user_upload/PDFs/Vorlesungen/est3/WS_2017/Seminar-Notes/LTPEM_vs_HTPEM.PDF))



38. ábra Az E2 meghajtási rendszerének elemei [118]

Az elektromos meghajtási rendszerben kevés mechanikusan mozgó alkatrész van (hajtótengely a légcsavarral), a fejlesztők hangsúlyt inkább az azokat működtető szoftverekre, illetve félvezetőkre helyezték. Így a motor által keltett vibráció sokkal alacsonyabb, mint a belső égésűeknél. Továbbá az üzemanyagcellái kevesebb hulladékhőt termelnek, ezáltal és alacsonyabb rezgések miatt a rendszer megbízhatósága is javul. Kiváló aerodinamikai kialakítása, hosszú, karcsú szárnya és könnyű szerkezete miatt (39. ábra) kevesebb energiát igényel. A sárkány teljes burkolatát villámvédelemmel és jégtelenítő rendszerrel látták el. Legnagyobb repülési sebessége 250 km/h, hatótávolsága eléri az 5500 km-et, melyet pilótával, vagy a nélkül, UAV-ként is képes megtenni. 200 kg hasznos terhet szállíthat, a zajkibocsátása kevesebb 65 dB-nél, így változatos felhasználási módokat javasolnak a fejlesztők (pl. tengeri felügyelet, határ ellenőrzés, ipari infrastruktúra, környezetvédelmi, mezőgazdasági ellenőrzés stb.) [118]



39. ábra E2 a 2018-as Intergeo kiállításon [118]

## HY4

A DLR vállalat egy újabb, 2015 októberében induló másik üzemanyagcellás projektben is részt vett, melyben létrehozták a HY4-t. Alapjául a Pipistrel vállalat által gyártott Taurus Electro G2 nevű motoros kisrepülőgép szolgált. Fejlesztések során - kedvező tömegeloszlás és meghajtás miatt - ikertörzsű kialakítású, négyüléses repülőgép vált belőle, melyet egy 80 kW-os motor emel a levegőbe (40. ábra). Ezt az elektromos meghajtást egy 45 kW-os hidrogén táplálású PEM üzemanyagcella és 45 kW-os összeteljesítményű lítium-ionos akkumulátor csomag szolgálja ki. Az előbbit az utazó sebesség elérése után használta a repülőgép, míg az utóbbit felszállásnál és emelkedésnél. Szárnyfesztávolsága 21,36 m, hossza 7,4 m, szerkezeti tömege 630 kg (üzemanyagcella és akkumulátorok nélkül), melyekkel ~200 km/h-s maximális, 145 km/h-s utazó sebességet tudott elérni, a hatótávolsága pedig az időjárás, a terhelés függvényében 750 és 1500 km között változott. Az elképzelések szerint ezt az elektromos repülőgépet, ún. légi taxiként alkalmaznák Németországon belül, rövid és közepes távolságokon regionális repülőterek között. Így egy gyors, rugalmas személyszállításra alkalmas lehetőséget hoznának létre, amely mentes a károsanyag kibocsátástól. [119][120] Első tesztrepülésére 2016. szeptember 29-én került sor a stuttgarti repülőtéren [121].



40. ábra HY4 meghajtásával kapcsolatos technikai adatok [122]

## Ion Tiger UAV

Az USA Haditengerészet Laboratóriumában 2003-ban kezdődtek kutatások az UAV-k üzemanyagcellával történő táplálásáról. Így jött létre az 5,18 m fesztávolságú Ion Tiger (41. ábra). Elsődlegesen lopakodó alkalmazású, hosszútávú repülésre fejlesztették ki, mely a meghajtásából adódóan kevesebb zajt, hőt és szennyezőanyagot bocsát ki. Az 550 W névleges teljesítményű, hidrogénnel táplált PEM üzemanyagcellája 36 db cellából, hűtőfolyadék szivattyúból, párologtatóból, ventilátorból és egyéb érzékelőkből áll. A hidrogén 99%-át használja fel működéséhez, mellyel 40-45%-os hatásfokot ér el. Az UAV 16,78 kg tömegű, és

2,25 kg hasznos terhet (pl. elektromágneses, infravörös érzékelők, kommunikációs kiegészítőket stb.) szállíthat. Az első három tesztrepülésén 2009-ben 345 bar nyomású gáz halmazállapotú hidrogénnel emelkedett a levegőbe, ahol először 13 órát, azután két hónappal később 23 óra 17 percet tartózkodott, majd 26 óra 1 perccel megdöntötte saját rekordját. 2013 áprilisában viszont kriogén hidrogénnel 48 órán át repült. A sárkányszerkezet és a tüzelőanyagtartály kompozitból készült. Vezérlőrendszerét úgy alakították ki, hogy akár szembeszélben is nagy teljesítménnyel repüljön, vagy energiatakarékos üzemmódban termikek felhajtóerejét használva emelkedjen. [123][124]



41. ábra Ion Tiger UAV [123]

A kutatások jelenleg is folynak, hogy minél több energiát, teljesítményt lehessen előállítani az üzemanyagcellákkal, úgy, hogy kisebb tömegűek és kiterjedésűek legyenek, hatékonyabban használják fel működésükhöz az alapanyag forrásait. Továbbá repülés közben képesek legyenek gyorsan reagálni a hirtelen változó követelményekre, például felszállás, emelkedés, egyéb manőverek közben. Ki kell szolgálniuk a magasban történő, a hosszú hatótávolságú repüléseket, mind civil, mind katonai felhasználás során legyen szó személy-, teherszállításról vagy UAV-k esetén egyéb speciális feladatok ellátásáról. Ezeknek az eszközöknek környezetszennyezésük közel zéró, ha csak a működésüket vesszük figyelembe, zajkibocsátásuk is igen alacsony. Egyelőre gyenge pontjuk a környezetvédelem terén a betáplált alapanyagok előállítása, mert az jelenleg is nagyrészt fosszilis energiahordozók bevonásával történik, tehát a kutatóknak, fejlesztőknek a következő megoldandó feladata lesz ezt kiváltani megújuló energiaforrásokra, és akkor valóban egy környezetbarát meghajtást hozhatnak létre.



### I. 3. 4. AKKUMULÁTOROS MEGHAJTÁSÚ LÉGIJÁRMŰVEK

A fejlesztések elindultak az akkumulátoros meghajtással rendelkező légi járművek esetén is. Nem csak nagy repülőgép gyártó cégek, mint például az Airbus, kezdték el a kutatásokat e téren, hanem a kisebb magán vállalatok is, akik kimondottan erre vagy mellette más alternatív meghajtásra is specializálódtak. Általánosságban elmondható, hogy a létrehozott sárkányszerkezetekhez az elektromos motorokat, illetve az akkumulátorokat különböző cégektől szerzik be a fejlesztők.

#### *Sun Flyer*

A Bye Aerospace vállalatot 2007-ben alapították, székhelye Englewood-ban, Colorado államban van. Elektromos és napenergiát felhasználó repülőgépek, UAV-k fejlesztésével foglalkoznak, melyekre eddig 220 rendelésük volt, és szerte a világban értékesítették is már őket, mint például Európában, az Egyesült Államokban, Ausztráliában. [125]

A Sun Flyer programot 2014-ben indították el, mely során megújuló energiaforrásokat használó, elektromos repülőgépet akartak létrehozni. A tervek szerint kétféle típust gyártanak: a kétüléses, Sun Flyer 2 és a négyüléses, Sun Flyer 4. A Szövetségi Légügyi Hivatal (Federal Aviation Administration – FAA) 2018 tavaszán a Szövetségi Légiközlekedési Előírások (Federal Aviation Regulations – FAR) 23. része alapján elfogadta, és tanúsította a projektet. A Sun Flyer 2 meghajtását a Siemens vállalat által gyártott SP70D motor biztosítja, melynek csúcsteljesítménye 90 kW (120 LE), míg folyamatos üzemelés mellett 70 kW (94 LE). Az elektromos áram tárolására az Electric Power Systems hat darab lítium ionos akkumulátora szolgál, melyek mellé akkumulátorkezelő és áramelosztó egység is kerül. A töltés idejük a Tesla vállalat által gyártott Supercharger-rel 20 perc, míg más fajta töltők esetében 2, de akár 8 óra is lehet. A repülőgép szárnyfesztávolsága 12 m, szerkezeti tömege 662 kg, 3,5 óráig tartózkodhat a levegőben, maximális sebessége 250 km/h. Károsanyag kibocsátása nincs, csendes működésű, és a cég szerint üzemeltetési költsége alacsony: a Sun Flyer 2-nek 14 US dollár óránként, a Sun Flyer 4-nek 19,8 US dollár (összehasonlításképp: Cessna 172-nek 88,31 US dollár, Cessna 182-nek pedig 122 US dollár óránként). 2019. február 8-án sikeresen végrehajtotta első tesztrepülését a Sun Flyer 2. [126][127]



42. ábra Sun Flyer 2 repülőgép első tesztrepülésén [125]

A Sun Flyer 4-en egyelőre földi teszteléseket végeznek. Előzetes tervek szerint ~12 m-es fesztávolsággal, 1225 kg szerkezeti tömeggel fog rendelkezni, mellette 360 kg hasznos terhet szállíthat, melyekkel 100-220 km/h-s sebességet érhet el. Repüléséhez 10 db akkumulátort használ (teljesítményük 130 kW), melyekkel várhatóan négy órát működhet, és 20-30 perc alatt feltölthetők lesznek 85%-ra. A Spartan Műszaki és Repülési Főiskola a négyüléses repülőgépből egyet, míg a kétüléses változatból 25 darabot rendelt. Az iskola teljes képzési tervet, tanmenetet hoz létre a Sun Flyer repülőgépek sárkányszerkezetének és energiaforrásainak megismerésére. [128]

Az FAA, GAMA és a statisztikák szerint a jelenleg is alkalmazott kétüléses oktató repülőgépek átlag életkora 58 év körül van, melyek karbantartása kezd nehézkessé, illetve költségessé válni, károsanyag kibocsátásuk pedig magas. A Bye Aerospace számításai szerint hiány fog kialakulni az oktató repülőgépek terén a régiók üzemből történő kivonása miatt, ezért körülbelül 20000 darabot szeretne a vállalat legyártani és a megüresedő helyeket a saját termékeivel betölteni oktatási, képzési célokra. Jelenlegi ára a Sun Flyer 2-nek 349000 US dollár (5000 US dollár a foglaló), míg a Sun Flyer 4-nek 449000 US dollár (10000 US dollár a foglaló). [125]

### *eFusion*

A magyar Magnus Aircraft Zrt. és a Siemens vállalat közösen megalkották a Magyarországon készülő eFusion elektromos meghajtású repülőgépet (43. ábra), melynek alapjául a korábbi Fusion 212-es Rotax motorral felszerelt, kétüléses, oktató és sport repülőgép szolgált. Az eFusion elektromos meghajtását a német anyavállalattal a magyarországi Siemens Zrt., míg kompozitból készült sárkányszerkezetét a Magnus Aircraft Zrt. fejlesztette ki. A repülőgép hossza 6,62 m, fesztávolsága 8,44 m, szerkezeti tömege 410 kg, a benne található elektromos motor Siemens SP55D típusú (60 kW-os), nyolc akkumulátorral repülési ideje kb.

20 perc és beépített mentőernyő rendszerrel is rendelkezik. A fejlesztések 2014-ben kezdődtek, első repülését 2016-ban teljesítette, és ebben az évben az Aero légikiállításán Németországban, az eFlight 2016 európai innovációs díjat is megkapta. Kialakítása, továbbá felszereltsége miatt oktatási és sport célokra ajánlja a Magnus Aircraft a polgári és katonai szférában egyaránt. 2017-ben elkészült egy második eFusion is. [129][130][131]



43. ábra eFusion (gyári illusztráció) [132]

### *E-Fan*

Az Airbus Csoport is bekapcsolódott az elektromos meghajtással rendelkező repülőgépek fejlesztésébe. A prototípus elnevezése E-Fan lett, melynek kétülékes (E-Fan 2.0) (44. ábra) és négyülékes (E-Fan 4.0) változata szintén megszületett. Két, egyenként 30 kW-os elektromos motor hajtja meg, melyet 120 darab, a szárnyban elhelyezett lítium-ionos akkumulátor táplál. A sárkányszerkezete szén-szál erősítésű kompozitból készült, szerkezeti tömege 500 kg, szárnyfesztávolsága 9,5 m. 220 km/h a maximális, 160 km/h az utazó sebessége, mellyel közel egy órát képes a levegőben tartózkodni. Érdekessége a konstrukciónak, hogy a főfutó kerekén egy 6 kW-os motort helyeztek el, mely a felszállásban nyújt segítséget, hogy a repülőgép elérje a 110 km/h-s sebességet. Először 2014. március 11-én emelkedett a levegőbe, majd ugyanebben az évben, áprilisban sor került az első tesztrepülésére is. 2015. július 9-én az angliai Lydd város repülőteréről szállt fel, majd Calais-ban landolt, 37 perc alatt átszelve a La Manche csatornát. Az E-Fan kétülékes változatát főként pilótaképzésre ajánlják, míg a négyülékes típust a későbbiekben rövid távolságú utasszállításhoz. [133]



44. ábra Airbus E-Fan elektromos repülőgép [133]

#### *Puma AE (All Environment) UAV*

Az elektromos meghajtás alkalmazásának lehetősége az UAV-knál is megjelent. A Pentagonnak, illetve az Egyesült Államok Parti Őrségének is szüksége volt olyan kis pilótanélküli légi járműre, mely nem csak a szárazföldre, hanem a vízre is képes leszállni. Ezt az igényt az AeroViroment vállalat teljesítette a Puma AE-vel (45. ábra). Szárnyfesztávolsága 2,8 m, hossza 1,4 m, tömege 6,3 kg, így akár kézből, akár tartószerkezetről katapultálva is indítható. Elektromos meghajtását lítium-ionos akkumulátorok biztosítják, de érdekessége, hogy „Plug and Play” rendszerben üzemanyagcella, illetve napelemek is csatlakoztathatóak hozzá, így növelve a repülési idejét akár 3,5 óra fölé is. Manuális vezérléssel, de akár autonóm üzemmódban is képes működni, hatótávolsága 20 km. Infravörös és elektrooptikai kamerával felszerelt, GPS-szel is ellátott, így felügyeleti, felderítési, hírszerzési feladatokat is elláthat, továbbá lehetséges ezeket a kiegészítőket bővíteni egyéb speciális küldetések ellátására. Az AeroViroment vállalat 2008. március 7-én rekordot döntött, több mint 9 órát tartózkodott folyamatosan a Puma AE a levegőben. Ennél a repülésénél üzemanyagcellát is alkalmaztak az UAV-ban, mellyel a repüléssel töltött időt sikerült megháromszorozni. [134][135]



45. ábra Puma UAV kézből történő indítása [135]

### *Sikorsky Firefly*

A merevszárnyú légi járművek mellett megjelentek a forgószárnyasok is az elektromos meghajtások fejlesztésében. 2010. július 19-én mutatkozott be a nyilvánosság előtt a Sikorsky Aircraft vállalat Firefly nevű teljesen elektromos helikoptere (46. ábra), mellyel világelső lett. A bemutató légi jármű alapja a cég saját S300-C típusú helikoptere volt. Ezt építették át: a dugattyús motort 142 kW-s (190 LE-s) elektromosra cserélték le, és (a német Gaia vállalat által gyártott) 300 cellából álló lítium ionos akkumulátorral is felszerelték, melyeket a pilótafülke két oldalán helyeztek el. Továbbá új fejlesztésű digitális motorvezérlőt és pilótafülke-kijelzőt is kapott, rajta nyomon követhető az akkumulátorok állapota (töltöttség, hőmérséklet stb.). A sárkányszerkezeten csak kis mértékben változtattak, felszálló tömege 975 kg. A vállalat vezetője szerint a fő forgószárny kimenete 76,3%-kal hatékonyabb az elektromos változatban, illetve a hővesztesége is alacsonyabb, a meghajtó rendszer pedig egyszerűbb, kevesebb mechanikai mozgó elem került bele. Teljesítménye természetesen elmarad a hagyományos, ilyen kategóriájú helikopterekétől, bár 300%-kal hatásosabb lett a meghajtása az eredetihez képest. Utazó sebessége 146 km/h, amellyel csupán 15 percig képes a levegőben maradni. A Sikorsky Aircraft fejlesztési terveiben szerepel, hogy két elektromos motorral építik meg a helikoptert, amelyekkel külön-külön hajtják meg a forgószárnyat, illetve a farok légcsavart, főlegessé téve szel a közlőmű rendszer számos elemét. [136]



46. ábra Sikorsky Firefly elektromos helikopter [136]

### *Robinson R44 elektromos helikopter*

A Tier 1 Engineering egy használt R44-es helikoptert alakított át elektromos meghajtásúvá (47. ábra). A fejlesztésben részt vett még a Rinehart Motion Systems (elektromos motorok, vezérlő rendszer) és a Brammo Power (akkumulátorok). A Lung Biotechnology pedig szponzorként szállt be a 2016-ban kezdődő projektbe. Az első felszállására 2016. szeptember 13-án került sor, majd 21-én saját rekordját megdöntve 5 percet tartózkodott a levegőben, 122 m-es repülési magasságot és 148 km/h-s sebességet elérve. A helikopter fülke alatt elhelyezett ~500 kg tömegű lítium-polimer akkumulátorok 67 kW összteljesítményt szolgáltatnak az iker kivitelű háromfázisú állandó mágneses szinkron motoroknak, melyek egymáson helyezkednek el. A helikopter felszálló tömege 1134 kg. A Lung Biotechnology vállalat az EPSAROD (Electrically-Powered Semi-Autonomous Rotorcraft for Organ Delivery) program keretein belül finanszírozta a fejlesztéseket, mert elektromos helikoptert kíván használni a későbbiekben szervek szállításához transzplantációra a nagyobb kórházakba. 2017. december 7-én az elektromossá átalakított R44-es Guinness világrekordot állított fel: több mint 22 percet tartózkodott a levegőben, mialatt 56 km-et tett meg. A továbbiakban is folytatják a fejlesztést a Tier munkatársai, hiszen a cél, hogy 150 percet tudjon folyamatosan repülni a helikopter, és 272 kg hasznos terhet szállítva. [137][138]



47. ábra Elektromos R44-es [138]

### *Volocopter helikopter család*

A Volocopter GmbH német vállalat fejlesztések sorozataként hozta létre a Volocopter helikopter családot, melyek teljesen elektromos meghajtásúak pilótával vagy anélkül is üzemelhetnek. Kutatásaik első részeredményét 2011-ben tudták bemutatni, mikor egy 18 forgószárnyas multikopter, rajta egy emberrel a levegőbe emelkedett (48. ábra). Ezt a prototípust távirányítóval, de akár előre megadott koordináták alapján is, lehetett mozgatni akár a földön tartózkodó pilóta által. [139]



48. ábra 18 rotoros multikopter [140]

A következő lépcsőfok a Volocopter VC200-as kétülékes modell volt, szintén 18 darab légcsavarral ellátva, melyek egyenként 3,9 kW teljesítményre képesek. Első autonóm tesztrepülését 2013. november 17-én végezte, míg pilótával 2016. március 30-án emelkedett a levegőbe. A törzs hossza 2,9 m, szerkezeti tömege 300 kg, hasznos teherként, 150 kg-mal tud felemelkedni, maximális sebessége 100 km/h. Pedálok nem találhatóak benne, mint a

hagyományos helikopterekben, csak egy joystick, mellyel irányítani lehet, így vezetése könnyen, rövid idő alatt elsajátítható. [139][141]

A Volocopter 2X (49. ábra) a vállalat legújabb helikopter fejlesztése, melyet egyelőre légi taxiként kívánnak alkalmazni. Szerkezeti kialakításában, meghajtásában nagyon hasonló a VC200-hoz. Ezt a típust is 18 darab légcsavar emeli a levegőbe, alacsony zajszintű, kétüléses, kompozitból készült, 450 kg a felszálló tömege, maximális sebessége 100 km/h. Hatótávolsága 27 km, melyet 70 km/h sebességgel tesz meg, illetve 27 percig tud folyamatosan a levegőben maradni 50 km/h-s sebesség esetén. Lítium-ionos akkumulátorok működtetik, melyeket gyorsötöltéssel kevesebb, mint 40 perc alatt, normálal 120 perc alatt feltölthetők. 2017. szeptember 25-én Dubajban sikeres autonóm repülést hajtott végre. [140]



49. ábra Volocopter 2X repülése Dubajban [140]

Az elektromos meghajtás alkalmazásával a légi járművek semmiféle szennyezőanyagot nem juttatnak a légkörbe. Az alkalmazott motorok csendes működésűek, nyomatékuk magasabb, mint a hasonló teljesítményű belsőégésű motoroké, nem kell őket felszállás előtt melegíteni és a gyártó vállalatok szerint az üzemeltetési költségük is alacsonyabb. Mivel folyékony tüzelőanyagot nem szállítanak magukkal, így ennek a súlyváltozásával, ebből adódóan pedig a súlyelosztás változásával sem kell számolni, tehát egyenletesebb, stabilabb lesz a repülés. Ezeket a légi járműveket egyelőre pilótaképzésre, oktatási célokra, rövid hatótávolságú repülésekre (regionális), városban történő közlekedésre ajánlják a gyártók. Országok közötti személy- és teherszállításra, katonai feladatok ellátására egyelőre nem alkalmasak a kis hatótávolságuk, illetve a rövid repülési idejük miatt, melyeket az akkumulátoraik teljesítmény határa korlátoz le.



### I. 3. 5. AKKUMULÁTOROK ENERGIATÁROLÁS PROBLÉMÁI

Akár a teljesen elektromos, akár az üzemanyagcellával vagy napelemmel ellátott légi járműveket vizsgálunk, mindegyik a meghajtó energiát az akkumulátoraiból nyeri ki. A jelenlegi akkumulátorok teljesítménye, energiasűrűsége<sup>22</sup> nem alkalmas hosszabb levegőben tartózkodás biztosítására (8. táblázat).

Tüzelőanyag vagy akkumulátor típusa	Üzemanyagok				Akkumulátorok			
	kerozin (JET A)	100LL Avgas	benzin	gázolaj	lítium- ion	lítium- polimer	lítium- levegő	ólom
<b>Energiasűrűség [Wh/kg]</b>	11889	12222	12000	12889	120-350	100-265	1300- 1400	40

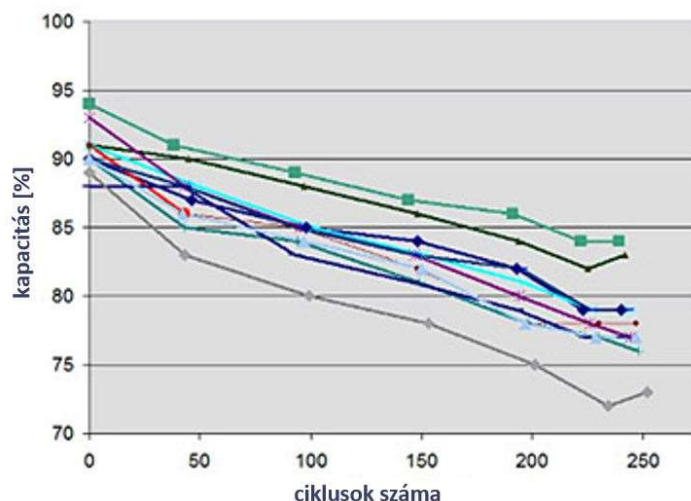
8. táblázat Üzemanyagok és tüzelőanyag-akkumulátorok energia sűrűsége [105]

A 8. táblázatból megállapítható, hogy az eddig kifejlesztett akkumulátorok energiasűrűsége jóval alacsonyabb, mint a fosszilis eredetű tüzelő- és üzemanyagoké. Megjegyzendő, hogy bár a benzin energia tartalma magas a táblázatban, a kerekre jutó energia ennek kb. a harmada, negyede. Ahhoz, hogy elérjék a jelenleg is használatban lévő meghajtóanyagok szintjét, több akkumulátort kellene elhelyezni a légi járműveken, így a felszálló tömege növekszik, amiért még több energiával kell a rendszert ellátni.

Más gondokra is megoldást kell találni, mint például az akkumulátorok töltése. Ahogy a Sunflyer repülőgép (62. ábra) a Tesla Supercharger töltőjével 20 perc alatt feltölthetők, addig másfajta töltők esetén ez órákba is telhet, ami függ töltendő berendezés nagyságától, tehát a folyamat hosszadalmas. Ez a probléma orvosolható, ahogy egyébként példa is van rá az elektromos légi járművek gyártói részéről, hogy leszállás után a lemerült akkumulátorok gyorsan cserélhetők feltöltött állapotban lévőkre, így repülhet tovább a légi jármű.

Az akkumulátoroknak is van életciklusuk, amely függ a töltések számától, illetve a környezeti hőmérséklettől (vagy tárolási hőmérséklettől). 11 db 1500 mAh-s mobiltelefonban alkalmazott lítium-polimer akkumulátort töltöttek fel, majd merítették le a Battery University munkatársai a Cadex Electronics laboratóriumának segítségével, hogy megvizsgálják, milyen hatással van az akkumulátorok élettartamára a többszöri feltöltésük [142]. Ezt a 50. ábra szemlélteti.

<sup>22</sup> Egységnyi térfogatban vagy tömegben tárolt legnagyobb energiamennyiség.



50. ábra Lítium-polimer akkumulátorok kapacitásának változása a feltöltések számának függvényében [142]

Jól látható, hogy az akkumulátorok kapacitása csökken a töltési ciklusszám növekedésével. Hasonló kapacitás csökkenés figyelhető meg egy év után különböző tárolási hőmérsékleten is, melyeknél 100% töltöttségen voltak az akkumulátorok: 0 °C-on 94%, 25 °C-on 80%, 40 °C-on 65%, míg 60 °C-on már 3 hónap után 60% lett az eredmény [142]. Tehát a nem megfelelő tárolási hőmérséklet, és valószínűsíthetően üzemi hőmérséklet is az energiatároló képesség rovására megy, így egy idő után az alkalmazott akkumulátorokat cserélni szükséges, amelynek igen magas a költsége.

Az utóbbi időben többször lehetett hallani lítiumos akkumulátorok felrobbanásáról, illetve kigyulladásáról, ami különösen veszélyes légitársaságokban történő alkalmazásukkor. Gyártásukkor szennyező anyagok kerülhetnek a belsejükbe, melyek rövidzárlatot okozhatnak. Ezt a problémát a gyártók röntgensugárral történő átvilágítással, mint anyagvizsgálati módszerrel orvosolni tudják, és a „szennyezett” berendezéseket leselejtezik. Azonban történhetnek olyan hatások, mint a hirtelen hőmérsékletcsökkenés (fagyás), mechanikai behatás vagy vibráció, amely károsíthatják az akkumulátor belső szerkezetét, és robbanáshoz, tűzhez vezetnek. Ezért érdemes mindig rendeltetésszerűen használni azokat, illetve olyanokat, amely hitelesítve vannak és ellenőrzött gyártóktól származnak. [143]



51. ábra A Japan Airlines egyik Boeing 787-sének kiégett APU<sup>23</sup> akkumulátora [144]

További kihívás jelent a használt akkumulátorok semlegesítése vagy újra hasznosítása, hiszen erőteljesen környezetszennyezőek, ha nem megfelelően ártalmatlanítják őket, illetve ez a folyamat igen költséges is. A Bosch, a Vattenfall (villamos energia és gáz szolgáltató), valamint a BMW viszont talált erre a problémára megoldást. Az elektromos autókban lévő akkumulátorokból néhány évi használat után már nem nyerhető ki az a teljesítményt, amellyel a gépjárművet meg lehet hajtani. Ez nem azt jelenti, hogy az akkumulátor használhatatlanná válik teljesen. A fenti vállalatok az elektromos autókból leselejtezett energiatároló egységeket letesztelik, majd a még használhatókat modulokba szerelik össze egy rendszerbe, és tovább üzemelve az elektromos hálózat stabilizálására alkalmazzák. Ilyen telepet, amely Európa legnagyobb energiatároló rendszere, már létre is hozta a Bosch Braderup-ban, ahol a szélenergia által megtermelt energiát a későbbi felhasználásig tárolják. Hasonló, de kisebb beruházás jött létre Kelsterbach-ban is, ahol egy lakóparknak van saját elektromos autókból leselejtezett, lítium-ionos akkumulátorokból álló energiatárolója. [145] Számítások szerint az elkövetkező tíz évben körülbelül 3 millió elektromos gépjárművekből származó, azokban már nem alkalmazható akkumulátor fog megjelenni, amelyeknek még mindig 108 GWh tároló kapacitásuk [146]. Pazarlás lenne ezeket kivonni az energiatárolás rendszeréből.

A jelenlegi akkumulátorok energiasűrűsége, teljesítménye kisméretű légi járművek és UAV-k táplálására, illetve rövid idejű és távolságú repülésekre elégséges. Vélelmezhető, hogy a további fejlesztések során elér oda a technológia, különösen a szilárdtest akkumulátorok szériagyaártásra éretté válásával, hogy katonai és civil nagygépes személy-, teherszállítás kiszolgálására is alkalmasak legyenek. Addigra a különböző légügyi szervezeteknek is meg kell

<sup>23</sup> Auxiliary Power Unit – segédhajtómű

alkotniuk az elektromos légi járművekre vonatkozó tanúsítványokat, szabályzókat, rendeleteket ugyanarra a formára, melyek a fosszilis eredetű tüzelőanyagot felhasználókra jelenleg is érvényben vannak.

## **I. 4. HIDROGÉN MEGHAJTÁS**

### **I. 4. 1. HIDROGÉN, MINT TÜZELŐANYAG**

Az utóbbi években a hidrogénnel, mint égésekor karbonmentes kibocsátású repülőgép tüzelőanyaggal kapcsolatos kutatások felerősödtek, mert a szakemberek úgy tekintenek rá, mint a jövőbeni egyik legígéretesebb tüzelőanyagra, mellyel a kerozin kiváltható. A megvalósuláshoz, alkalmazásához, széles körben történő elterjedéséhez a repülésben azonban nem egyszerű feladat.

A hidrogén legfőbb előnye a hagyományos repülőgép tüzelőanyagokhoz képest nagy az energiasűrűsége, tömegegységenként a háromszorosa. Hátránya viszont – még sűrített, vagy cseppfolyósított állapotban is - rendkívül kis sűrűsége, ezért egyenértékű energia tárolására 3-4-szeres tartálytérfogat szükséges. A jelenleg üzemelő repülőgépek hajtóművét, tüzelőanyagrendszerét át kell alakítani ennek az energiahordozónak a fogadására. Erre már léteznek működő, több elemében adaptálható technológiák, megoldások az űrrepülés és az autópálya területéről. [147]

A hidrogént lehet cseppfolyós vagy sűrített gáz állapotban is tárolni. A repülőeszközöknél az előbbi azért kedvezőbb, mert sűrűsége valamivel nagyobb, így a tárolására szolgáló tartályok térfogata valamivel kisebb lehet, de a rendkívül alacsony tárolási hőmérséklet fenntartására azokat aktív és passzív hővédelemmel is el kell látni, ami a fajlagos tömegüket növeli. Ez a repülőgép tervezésekor fontos szempont, mert befolyásolja az össztömegét. Továbbá a jelenleg is fennálló repülés biztonsági szabályoknak is meg kell felelnie a hajtóanyag tárolásnak. [147]

A hidrogén meghajtás esetén a repülőgépek nem bocsátanak ki szén-dioxidot e hajtóanyag elégetésekor, így a klímára gyakorolt kedvezőtlen hatást 50-75%-kal, míg üzemanyagcellában történő felhasználásakor 75-90%-kal lehetne csökkenteni becslések szerint (megj.: mindez szintetikus tüzelőanyagokkal összevetve 30-60% lesz). A hidrogén meghajtású repülőgépek tervezésénél több szempontot is figyelembe kell venni, melyek a szakértők szerint öt-tíz év múlva már elérhetőek lesznek:

- hatékonyságát növelni szükséges, így kisebb tömegű tüzelőanyag tartályt kell beépíteni (12 kWh/kg) 35%-os gravimetrikus indexnél<sup>24</sup>;
  - üzemanyagcellás rendszer esetén a 2 kW/kg energiasűrűséget tartani kell, melybe beletartozik a hűtés is;
  - olyan hajtóműveket kell megtervezni, amely el tudja égetni úgy a hidrogént, hogy égésterméként kevés nitrogénoxid keletkezzen;
  - meg kell oldani a repülőgépen a cseppfolyósított hidrogén biztonságos elhelyezését.
- [147]

A hidrogén meghajtást olyan repülőgépekben lehet alkalmazni a hatótávolság figyelembevételével, amelyek ingázó, regionális, rövid, illetve középtávú repüléseket hajtanak végre. Az utóbbi kettőnél előtérbe kerül az üzemanyagcellás rendszer telepítése a gazdaságosság, az energiatakarékosság és a környezetvédelem szempontjából. A hagyományos tüzelőanyaggal történő üzemeltetési költségekhez képest ez az újfajta meghajtási lehetőség körülbelül 5-10 US dollárral (kb. 10%-kal) kerül többre utasok számára lebontva, melybe beletartoznak a közvetlen infrastrukturális és a CAPEX (termék fejlesztéséhez kapcsolódó költség) költségek, de az előbbi közvetett része, illetve a szén-dioxid ellentételezése már nem. Különböző távolságokba történő repülés esetén a fenti költség változhat:

- rövid hatótávolságnál: 20-30%-os költségnövekedés utasonként hibrid meghajtás alkalmazásakor;
- közepes hatótávolságnál: 30-40%-os költségnövekedés utasonként (25%-kal nagyobb energiaigény a hagyományoshoz képest hosszabb repülőgép törzs miatt);
- nagy hatótávolságnál: 40-50%-os költségnövekedés utasonként (repülőgépek sárkányszerkezetének áttervezése a hidrogénnel telt tartályok törzsben történő elhelyezése miatt). [147]

Figyelembe véve még az ellentételezés során az egyenértékű szén-dioxid csökkentett tonnánkénti költségeit ez kevesebb, mint 60 US dollár ingázó és regionális repülésnél, 70 és 220 US dollár rövid- és középtávú repülő útnál, míg hosszútávú repülésnél 210 és 230 US dollár között van. Mivel a nagy hatótávolságú repülőgépeket át kell tervezni a hidrogén tartályok miatt, ez költség növekedéssel fog együtt járni, így hosszú repülőutak esetén valószínűsíthető, hogy nem ezt a tüzelőanyagot, hanem helyette szintetikusokat fognak

---

<sup>24</sup> „A gravimetria az analitikai kémiában a kvantitatív analízis módszereinek azon része, amely eljárásai a végeredményt súlymeghatározással (analitikai mérlegen való leméréssel) adják meg mint a minta súly %-a.”  
forrás: [https://hu.wikipedia.org/wiki/Gravimetria\\_\(analitikai\\_k%C3%A9mia\)](https://hu.wikipedia.org/wiki/Gravimetria_(analitikai_k%C3%A9mia))

alkalmazni, melyekkel jóval gazdaságosabb lesz a repülőgépek üzemeltetése. Ezt az elgondolást esetleg a későbbiekben a csupaszárny hordozó törzsek (52. ábra) kivitelek írhatják felül nagyjából húsz év múlva. [147]



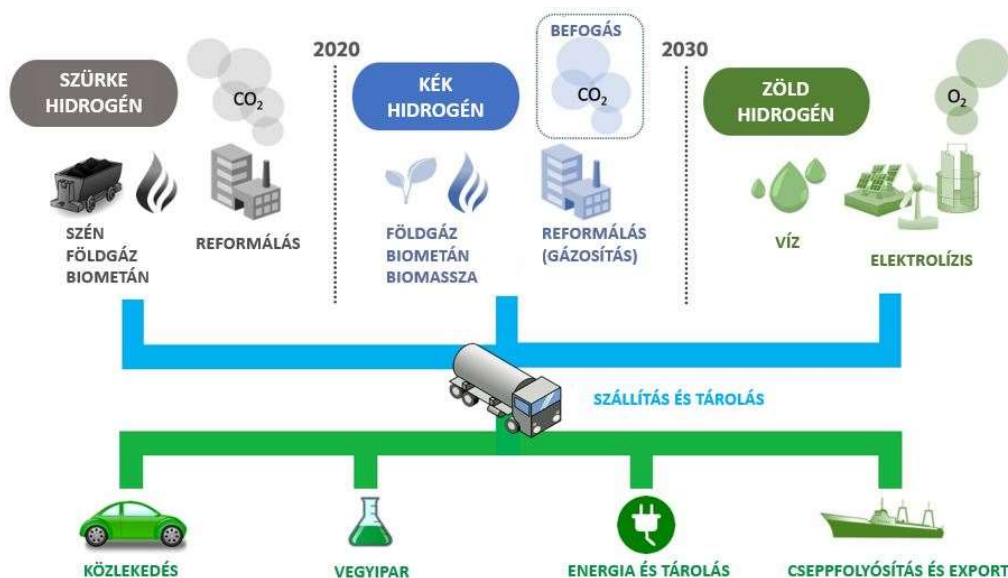
52. ábra Boeing és Airbus ZEROe csupaszárny hordozó törzs tanulmányterv

Ahhoz, hogy a hidrogén, mint tüzelőanyag elterjedjen a repülésben, megfelelően ki- vagy átalakított kiszolgálási infrastruktúrára is szükség van. Mivel más kémiai és fizikai tulajdonságokkal rendelkezik, mint a hagyományos tüzelőanyagok, ezért a felül kell vizsgálni a jelenlegi tárolási, szállítási feltételeket. A Nemzetközi Energia Ügynökség vizsgálatai szerint a földgázzállításra felhasznált csővezetékek megfelelőek lennének erre célra. Javaslatuk szerint nagyobb mennyiségű hidrogént lehetne ebben szállítani, míg kisebb tétel esetén megfelelő lehet a közúti, vagy vasúti tartálykocsik alkalmazása. A repülőtereken viszont átalakításra vár a jelenlegi kiépített ellátási rendszer, hogy ezzel tudják kiszolgálni a repülőgépeket. Javaslatként vetődött fel az is, hogy akár a légikikötők közelében hidrogén előállító, termelő egységeket telepítsenek, így a szállítási távolságot is csökkenteni tudnák. Az Airbus véleménye szerint, melyet egyeztet a repülőterekkel és a légitársaságokkal, az utasokat szállító buszokat, repülőgépeket vontató járműveket, illetve a földi kiszolgálásban részt vevő teher- és személyautókat is H<sub>2</sub> üzemre kellene átállítani, így elérve a homogén szerkezetű működtető energiaszükségletet és repülőterek egy részének a szén-dioxid mentes működését. [147]

A hidrogén, mint üzem- és tüzelőanyag elterjedéséhez fontos lesz a közvéleményt is meggyőzni arról, hogy felhasználása a biztonsági előírások betartása mellett jóformán kockázatmentes, mert jelenleg az emberek fele úgy gondolja különböző felmérések alapján, hogy nem biztonságos az alkalmazása. Több mint negyven éve használják az ipar egyes területein, és évente több millió köbmétert szállítanak, tárolnak belőle. Valószínű a következő évtizedekben az ezzel kapcsolatos fejlesztések, alkalmazások száma növekszik, hiszen ez lehet az egyik lehetőség a szén-dioxid mentes ipar eléréséhez. [147]

## I. 4. 2. HIDROGÉN ELŐÁLLÍTÁSA

A hidrogén megtalálható a vízben az oxigénhez kötve legyen szó óceánokról, tengerekről, tavakról, folyókról. A hidrogénnek négy fajtáját (szürke, kék, zöld, sárga) különböztethető meg nyersanyaga és előállítási módja szerint. (53. ábra)



53. ábra A szürke, a kék és a zöld hidrogén előállítása és alkalmazása [148]

A *szürke hidrogén* javarészt földgázból és szénhidrogénekből állítják elő, kismértékben pedig kőszénből, illetve biometánból. Ahhoz, hogy ezekből a nyersanyagokból hidrogén készüljön, nagy mennyiségű energia szükséges, amelyet fosszilis energiahordozókból nyernek ki. Évente 70-80 millió tonnát állítanak elő ebből. Mezőgazdasági termékekhez és olajfinomításhoz alkalmazzák, és legnagyobb termelői az Amerikai Egyesült Államok és Kína. Jelenleg a szürke hidrogén előállítása a leggazdaságosabb, de ugyanakkor a legkörnyezetszennyezőbb is. [148]

A *kék hidrogén* nyersanyagai jóformán megegyeznek a szürke típuséval. A különbség köztük, hogy az előbbinél az előállítás során keletkező szén-dioxidot befogják, leválasztják, majd felhasználják egyéb eljárásokhoz alapanyagként, vagy a kitermelt szénhidrogének helyére pumpálják vissza a földbe, így a teljes előállítás során kevesebb CO<sub>2</sub> kerül vissza a levegőbe. [148]

A *zöld hidrogén* alapanyaga víz, melyet elektrolízissel hidrogénné és oxigénné választanak szét, majd az utóbbi visszakerül a környezetbe. További feltétele a „zölddé” válásnak, hogy az előállításához szükséges energia megújuló forrásokból származzon. [148]

*Sárga hidrogén* keletkezik, amennyiben atomerőműben előállított elektromos áramot alkalmaznak az elektrolízishez. [148]

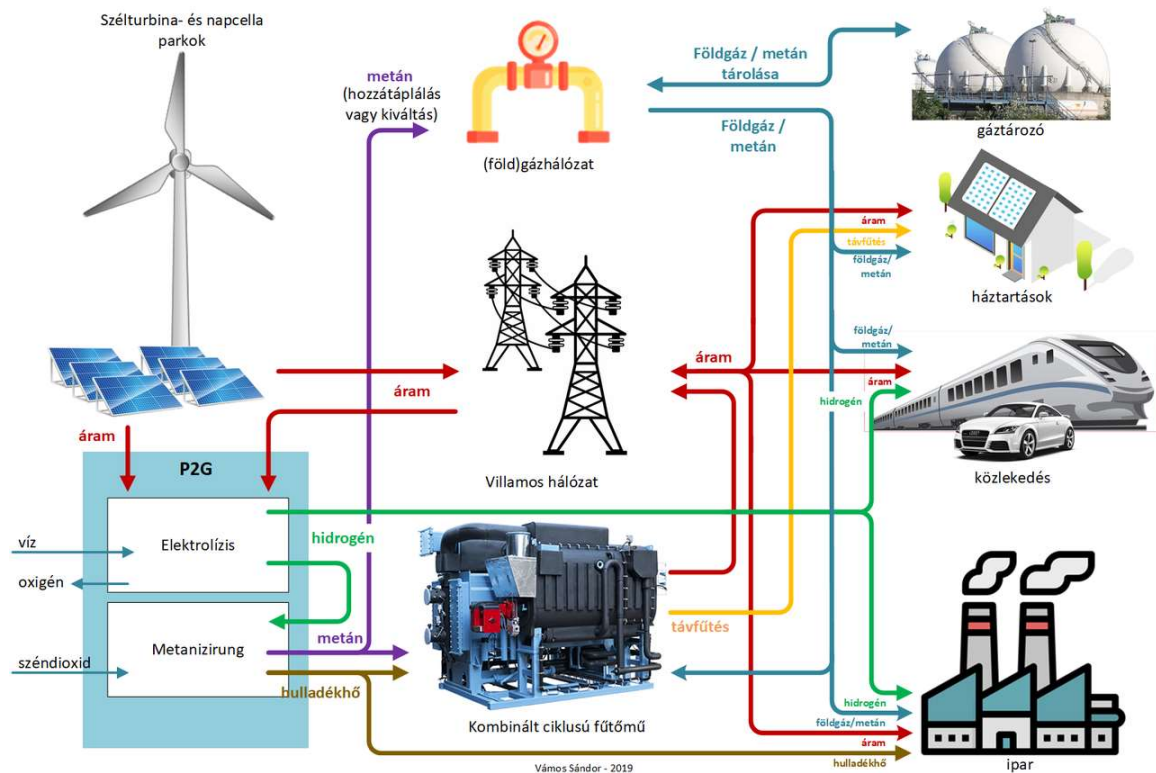
Évente körülbelül 70 millió tonna hidrogén keletkezik. Ennek csupán 0,1%-a zöld hidrogén, a fennmaradó többi a földgáztermelésből származó szürke hidrogén, melynek kitermelése a fosszilis eredetű tüzelőanyagokkal együtt 830 millió tonna szén-dioxid kibocsátást eredményez. Az előrejelzések szerint ez az arány nagyban változhat. Az eddigi adatok szerint 2014 és 2019 között a napenergiával termelt elektromos áram mennyisége megnégyszereződött, míg a szélenergiával létrehozott megduplázódott. A következő években az előrejelzések szerint ez a tendencia erőteljesen folytatódni fog. A velük táplált elektrolizátorok (az EU-ban várhatóan 2030-ra 40 GW összkapacitás) által létrehozott zöld hidrogén előállítási költsége 2030-ra akár 30%-kal is csökkenhet, míg 2050-re 50%-kal. [147]

Az Airbus ZEROe programjában is zöld hidrogént kíván alkalmazni az új fejlesztésű repülőgépjének meghajtásához (52. ábra), mely szerintük a versenyképessé válhat, ha a megújuló energiaforrások és az előállításának költsége a jövőben csökkeni fog. [147]

A zöld hidrogén termelés Magyarországon is hamarosan elindul. 2019. márciusában befejeződött a Bükkábrányi Energiaparkba a 65000 db polikristályos napelem telepítése, áprilistól pedig folyamatosan üzemelnek. Ezen berendezések a Mátrai Erőmű régi külszíni fejtésű lignit bányájának területén találhatóak, amelyen a beruházás megkezdése előtt rekultivációt hajtottak végre 32 hektáron (320000 m<sup>2</sup>). Az erőmű nettó fotovoltikus teljesítménye 19.9 MW, 2019-ben 28.5 GWh energiát termelt meg összesen, és a rekordot 2020. áprilisában döntötte meg 4033,7 MWh-val. A projekt itt nem ért véget. Mivel a napelemek csak megfelelő feltételek megléte mellett termelnek, de akkor túltermelés is előfordulhat, a fel nem használt elektromos áramot szükséges tárolni vagy alkalmazni más folyamatokban. 2020. márciusában az Innovációs és Technológiai Minisztérium energetikai innovációs pályázatot hirdetett. Erre a Bükkábrányi Fotovoltikus Erőmű Projekt Kft., illetve a Szegedi Tudományegyetem közös konzorciumban pályáztak, és 1,2 milliárd forint értékben támogatást nyertek power-to-gas (54. ábra) alapú energiatárolásra. [149]

A technológia alkalmazásával elektromos áramból több lépésben gáz állapotú tüzelőanyagot állítanak elő (pl. hidrogént), amelyet vagy eltárolnak, vagy nyersanyagként tovább hasznosítanak.





54. ábra A power-to-gas technológia összefoglalása (Vámos Sándor készítette) [150]

2021-ben indult el ez a projekt, 2022-ben pedig a kivitelezés, amely keretében az év decemberében megérkezett Magyarországra az elektrolizáló berendezés. Feladata a napelem parkban (55. ábra) megtermelt, és fel nem használt elektromos árammal zöld hidrogén előállítás. A készüléket és a későbbi palackozáshoz szükséges nyomásfokozót 2023. áprilisában a helyére telepítették, amelynek 1 MW-os teljesítményű, kísérleti üzemben 75%-os lesz a hatásfoka. Átala közel 100%-os tisztaságú  $H_2$  termelhető, amelyet tudományos, illetve gyógyászati célra is alkalmazható. A próbaüzemet követően 2023. augusztusában volt-a műszaki átadás. [149]



55. ábra A Bükkábrányi Energiapark napelemei és elektrolizáló berendezése [149]

A bükkábrányi zöld hidrogén termelés nem lesz egyedülálló Magyarországon. A MOL egy 22 millió eurós beruházás keretein belül Százhalombattán új technológiát tervez bevezetni. Az amerikai Plug Power vállalattól megvásárolt egy 10 MW-os elektrolizálót, amellyel évente 16000 tonna H<sub>2</sub>-t tud majd előállítani megújuló elektromos áram segítségével. A projekt a tavalyi évben vette kezdetét, és idén a tervek szerint már el is kezdődik a termelés. Ezt a MOL a Dunai Finomítójában kívánja felhasználni az üzemanyag készítése során, amellyel így lehetősége lesz kiváltani a jelenleg használt, földgáz-alapú gyártási eljárásának egy részét. Ezzel a szén-dioxid kibocsátását 25000 tonnával csökkenti, támogatva a SHAPE TOMORROW 2030+<sup>25</sup> vállalati stratégiáját, illetve azt, hogy a vállalat 2050-re elérje a karbonsemlegességet összhangban az Európai Zöld Megállapodással. [151]

A világ elektrolizáló kapacitásának 10%-a Shell tulajdonában van, amelyet a Holland Hydrogen I projekttel bővíteni fog. 2022 júliusában döntött úgy a cég, hogy beruházást indít el zöld hidrogén termelésre. A 200 MW kapacitású, Európában a legnagyobb teljesítményű elektrolizáló a tervek szerint akár napi 60000 kg H<sub>2</sub> előállítására lesz képes. A berendezés működéséhez és a folyamat nyersanyagaként szolgáló elektromos áramot a Hollandse Kust tengeri szélerőmű-parkból fogja nyerni, amelyben a Shell résztulajdonos. Az üzem 18,5 km-re fekszik Hollandia nyugati partjától, 125 km<sup>2</sup>-en 69 db tengeri szélturbinával 759 MW kapacitással, amelyek több mint egymillió holland háztartást láthatnak el megújuló energiával. A Holland Hydrogen I (56. ábra) a rotterdami kikötőből 32 km hosszú, föld alatti csővezetéken szállítja az előállított gázt a helyi kőolajleparló üzembe, ezzel részben kiváltva az általuk felhasznált sűrű hidrogént a benzin, gázolaj és kerozin gyártását. A tervek szerint 2025-ben áll üzembe a csővezeték rendszer az elektrolizáló berendezéssel együtt. [152]

---

<sup>25</sup>A MOL-csoport **aktualizált hosszú távú vállalati stratégiáját** — összhangban az EU Zöld Megállapodásával — beépítve a fenntarthatósági célkitűzésekkel, illetve kiegészítve a 2030-on is túlmutató távlati tervekkel.

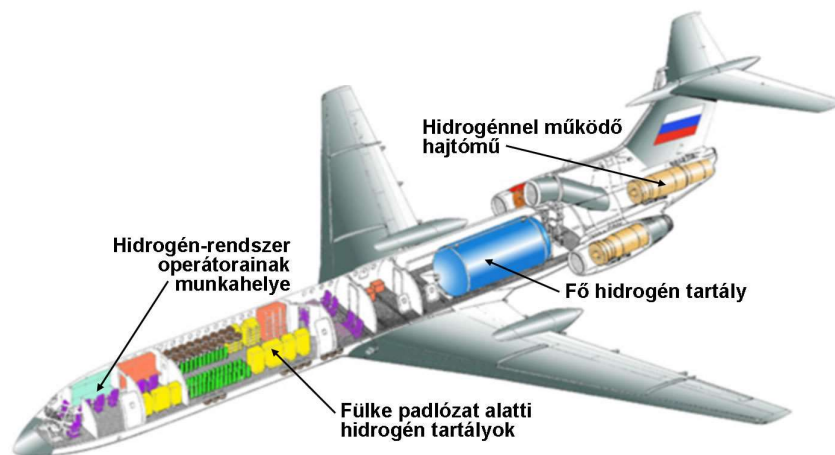


56. ábra A Holland Hydrogen I projekt látványterve [152]

### I. 4. 3. HIDROGÉN MEGHAJTÁSÚ REPÜLŐGÉPEK

#### *Tupolev Tu-155*

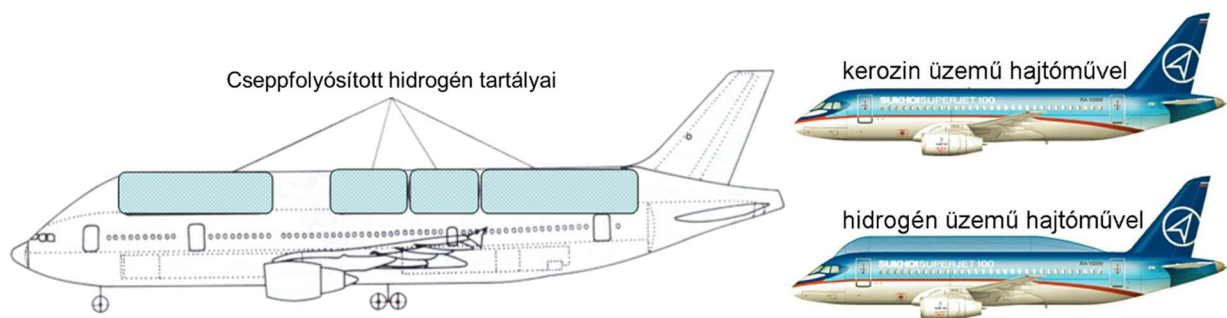
A hidrogén alkalmazása tüzelőanyagként repülőgépekben nem ismeretlen, hiszen 1988-ban egy átalakított Tupolev Tu-154-es először emelkedett a levegőbe, melynek egyik hajtóműve ezzel a tüzelőanyaggal (is) működött. Ezt további száz tesztrepülés követett folyékony hidrogénnel, majd cseppfolyósított földgázzal. Ekkor még inkább gazdasági, mint környezetvédelmi szempontok miatt történt a fejlesztés, mivel úgy gondolták, hogy olcsóbb lesz hidrogént atomenergia segítségével előállítani, mint kőolajból a kerozint. [153]



57. ábra Hidrogén és földgáz meghajtású Tu-155 [153]

A hidrogén tartályok elhelyezésével és ennek az anyagnak az elraktározásával kapcsolatban több problémával is szembesültek. Nyomástartó edényekben szükséges tárolni az új tüzelőanyagot, amelyet legalább  $-253^{\circ}\text{C}$ -on kell tartani, így megfelelő hőszigeteléssel

indokolt ellátni azt, továbbá külön hűtési rendszert is szükséges a repülőgépbe beépíteni. A cseppfolyósított hidrogén egységnyi tömegre vetített energiasűrűsége háromszor nagyobb a kerozinénál, de rendkívül alacsony sűrűsége miatt ehhez négyszeres térfogatot igényel. Ebből következik, hogy nagy nyomáson kell tartani, amelyhez a megfelelő tartály kialakítás hengeres vagy gömb alakú szükséges vastag falakkal. Ezeket a szárnyban nem lehet elhelyezni, így a törzs utastér feletti részébe lehetett beépíteni, megnövelve annak keresztmetszetét és így légellenállását is. Repülésbiztonsági szempontokat is figyelembe vettek, mert nyomástartó válaszfalakkal különítették el a hidrogén tartályokat. [153]



58. ábra Hidrogén üzemű Airbus A-319-es és Szuhaj Super Jet 100-as tanulmányterv az üzemanyagtartályok elhelyezésére

#### *Airbus hidrogén hajtású tanulmány repülőgépei*

Az Airbus három különböző hidrogénnel hajtott repülőgép koncepcióról készített tanulmányt, melyeket 2035 után vonnának be a légiközlekedésbe, mivel a jelenleg is forgalomban lévő A320neo-k üzemideje ekkor jár le. Ezzel a három modellel (58. ábra) szolgálná ki a kereskedelmi repülést: regionális utazásra egy turboprop változatot, az A320neo család tagjaként egy keskenytörzsű típust (narrow body), illetve egy csupaszárny modellt (blended wing body<sup>26</sup>). A vállalat több tüzelőanyagot is számba vett, de a szakemberei szerint a folyékony hidrogén, mint üzemanyag a legígéretesebb közülük, amely alkalmazásával elérhető, hogy a repülőgépek szén-dioxid kibocsájtás mentessé váljanak. [154]

Az Airbus tervei szerint 2025-ig vizsgálná annak a lehetőségét, hogy a felsorolt három koncepció (59. ábra) közül melynek vagy melyeknek folya tovább a fejlesztése, majd pedig a repülésben történő bevonása. Az Airbus vezérigazgatója szerint erre a keskenytörzsű változatnak van a legnagyobb esélye, de elképzelhető, hogy vele együtt a turboprop típust is bevonják a gyártásba. [154]

<sup>26</sup> Csupaszárny repülőgép: angolul hybrid wing body – [https://hu.qaz.wiki/wiki/Blended\\_wing\\_body](https://hu.qaz.wiki/wiki/Blended_wing_body)



59. ábra Az Airbus három hidrogén meghajtású tanulmány repülőgépe [155]

A folyékony hidrogén meghajtású keskenytörzsű repülőgépet úgy tervezik, hogy 120-200 utast szállíthasson, legalább 2000 tengeri mérföld (~3700 km) legyen a hatótávolsága (egész Európa elérhető lenne vele), 0,78 Mach-nak megfelelő utazó sebességgel. A hidrogéntartályokat, melyek biztosítják az elégetésre szánt tüzelőanyag mennyiségét, kiegészítik még üzemanyagcellákkal, amelyek egy hibrid-elektromos rendszert szolgálnának ki. Egyelőre nem döntötte el a vállalat, hogy csak ez az egyik változat váltaná fel az A320neo repülőgép családot, vagy a későbbiekben más modifikációt is létrehoznának, akár szintetikus tüzelőanyaggal üzemelőt. [154]

Az Airbus legnagyobb kihívásának azt tekinti, hogy az ipari partnereit, beszállítóit is meggyőzze arról, hogy szükséges az áttérés az új tüzelőanyagra és ezzel együtt elengedhetetlen felülvizsgálni, átalakítani a jelenleg alkalmazott meghajtásokat. Szerintük nem valószínű, hogy a folyékony hidrogén lesz az egyedüli megoldás a szén-dioxid csökkentésére minden területen. Számba veszik a szintetikus tüzelőanyagokat is lehetőségként, melyek alkalmazása alacsony kockázattal jár, és megfelelően képes kiszolgálni a hosszú távú repülést is, akár az előbbi lehetőséggel párhuzamosan alkalmazva más-más területeken. [154]

Az Airbus és az ausztrál székhelyű Fortescue Future Industries (FFI) vállalat szándéknyilatkozatot írt alá a folyékony hidrogén, illetve a PTL (power to liquid) típusú tüzelőanyag alkalmazhatóságának vizsgálatáról a repülésben. A kutatások magukban foglalják a zöld hidrogén előállításával, repülőtéri infrastruktúrával, globális ellátással, repülésben történő szabályozásával kapcsolatos felmerülő problémák megoldását, és a jelenlegi rendszerbe történő integrálását. Az FFI zöld hidrogént állít elő elektrolízis útján elektromos áram és víz felhasználásával. Ugyanez a vállalat átvételi megállapodást is aláírt Universal

Hydrogen-nel (UH<sub>2</sub>), amely jelenleg üzemanyagcellás meghajtási rendszereket fejleszt regionális hatótávolságú repülőgépekre. [156]

A repülőgép gyártó vállalatokra és a kereskedelmi repülésre nagy nyomást helyeztek a kormányok, hogy csökkentsék a környezetre gyakorolt káros hatásait. A hidrogénnel foglalkozó kutatásaikhoz különböző forrásokból (német és francia állami) támogatásokat is kaptak, illetve kompenzációt nyújtottak nekik, hogy minél kisebb személyi leépítések legyenek ezeknél a vállalatoknál a COVID19 kialakult helyzet miatt. Az Airbus a francia kormánytól kapott kutatási támogatást egy hidrogénmeghajtású repülőgép kifejlesztéséhez, melyet 2035-re a vállalatnak a légiközlekedésbe kell állítania. [154]

### *Piper M repülőgép*

2020. szeptember 24-én egy kereskedelmi kategóriába tartozó kisrepülőgép sikeresen teljesítette tesztrepülését, a világon elsőként hidrogén üzemanyagcellával. Az alapját egy hatüléses Piper M osztályú képezte (60. ábra), amelyet a ZeroAvia vállalat alakított át Cranfield-i csarnokában. A tesztrepülés során sikeresen teljesítette a fel- és leszállást, továbbá a földön történő gurulást és egy iskolakör megtételét a levegőben. [157]



60. ábra Hidrogén üzemanyagcellával üzemelő Piper M repülőgép [157]

A projekt az Egyesült Királyság HyFlyer programjában valósult meg, melynek célja egy olyan hajtásrendszer kifejlesztése, amely úgy helyettesíthetné a hagyományos légszavas repülőgépek meghajtását, hogy repülés közben kevesebb szén-dioxidot juttat a környezetbe. A program másik két résztvevője az Európai Tengeri Energetikai Központ (European Marine Energy Centre – EMEC) és az Intelligent Energy. Az utóbbi feladata az üzemanyagcellák optimalizálása a repüléshez, míg az előbbi zöld hidrogénnel látta el a repülőgépet. [157]

A ZeroAvia vállalat az EMEC-kel közösen a Cranfield-i telephelyén kialakított egy hidrogéntöltőhelyet repülőgépek számára demonstrációra, hogy lehet kiszolgálni a repülőtereken ezzel az alternatív tüzelőanyaggal meghajtott repülőgépeket. Az infrastruktúra neve Hydrogen Airport Refuelling Ecosystem (HARE), mely egy komplett rendszert alkot a zöld hidrogén előállítására szolgáló egységgel, ennek a tárolása és az üzemanyag feltöltésére alkalmas a kiszolgáló berendezésekkel együtt. A program utolsó részeként hátra van egy 250 mérföldes (~400 km-es) tesztrepülése 2023 év végén. [157]

A vállalat szerint a szeptemberi tesztrepülésük hatalmas mérföldkőnek számít a nulla károsanyag kibocsátású repülés felé a kereskedelmi kategóriában, és nincs messze az az időpont, amelytől ezzel az alternatív meghajtással rendelkező repülőgépek elérik azt a hatótávolságot és hasznos terhelhetőséget, mint a fosszilis eredetű tüzelőanyaggal üzemelők. További előnye, hogy alacsonyabb az üzemeltetési költsége, mert mind a karbantartás költsége, mind az üzemanyaga kisebb a hagyományos meghajtású légijárművekhez képest. [157]

#### *Rolls-Royce hajtómű fejlesztése*

2022. júliusában a Rolls-Royce vállalat és az easyJet légitársaság közös együttműködést jelentett be a Race to Zero kampány keretében, amelyet az ENSZ is támogat. Ennek a kezdeményezésnek a lényege, hogy a szén-dioxid kibocsátást 2030-ra a felére csökkentsék, míg 2050-re meg is szüntessék, illetve segítséget nyújtson a gazdaság dekarbonizációjához.

A Rolls-Royce 2022 novemberében földi tesztet hajtott végre egy AE 2100-A turbólégcsavaros, hidrogénüzeműre átalakított hajtóművön (61. ábra). A próbát a brit Védelmi Minisztérium Boscombe Down nevű katonai kísérleti telephelyén végezték el. A folyékony H<sub>2</sub> hajtóanyagot Európai Tengeri Energia Központ (European Marine Energy Centre – EMEC) biztosította, amelyet megújuló energiaforrások (szél és ár-ápany) segítségével állítottak elő. A teszt olyan sikeres volt, hogy már a következő átalakítandó hajtóművet, a Rolls-Royce Pearl 15-öt is kiválasztották az újabb teljeskörű földi tesztre. E fejlesztésekkel mindkét vállalat bizonyítani kívánja, hogy a jövő nulla szén-dioxid kibocsátású tüzelőanyaga a hidrogén lesz. [158]



61. ábra Rolls-Royce hidrogénnel működő AE2100-A átalakított hajtóműve [158]



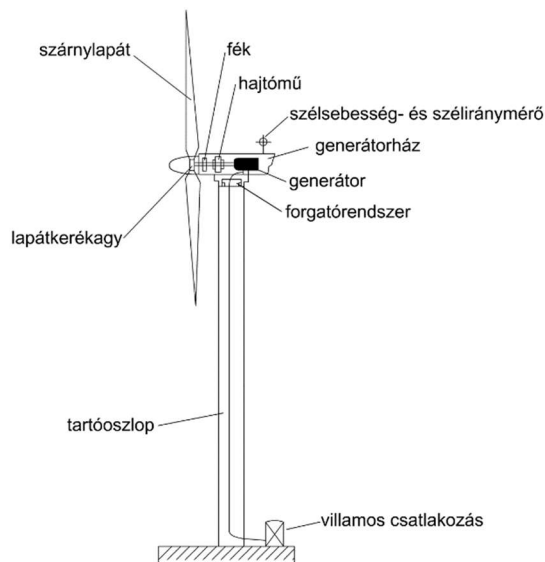
## II. KÖRNYEZETVÉDELEM A REPÜLŐTEREKEN

### II. 1. MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK

#### II. 1. 1. MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK BEMUTATÁSA

Mióta ember létezik a Földön, azóta aknázza ki, és használja fel a környezetében fellelhető energiaforrásokat, melyek két nagy csoportra oszthatók: a nem megújulóakra, illetve a megújulóakra. Az előbbi kategóriába tartoznak a nukleáris, továbbá a fosszilis eredetűek, mint a kőolaj, a földgáz, a szén. A megújuló energiaforrások vagy folyamatosan elérhetőek (nap, szél, víz) vagy újratermelődnek (biomassza, geotermikus energia). Előnyük, hogy korlátlan mennyiségben rendelkezésre állnak, becslések szerint mennyiségük nagyjából hússzor annyi, mint amennyi jelenleg az emberiség energiafelhasználása [159].

A *szélenergia* volt legkorábban hasznosított megújuló energia. Először hajók meghajtására, folyókból, tavakból történő vízkiemelésre használták, majd szélmalmok segítségével gabonát őröltek vele, vizet szivattyúztak a talajból, végül elektromos áram termelésére fogták be. Földrajzi adottságoktól függ a szél nagysága és iránya, nem egyenletes a Föld egész felszínét figyelembe véve, így hasznosításakor körültekintően meg kell választani a szélturbina vagy szélgenerátor helyét. Ilyen szempontból Európában a legelőnyösebb területek a tengerek, óceánok partvidéke: Hollandia, Belgium, Dánia, Izland, Nagy-Britannia, illetve az Északi-tenger környéke. A szél segítségével előállított energia értéke a világon 2012-ben meghaladta 282000 MW-t, Németországban a teljes felhasználás 11,1%-át szélerőművek biztosítják. A szélturbinával (62. ábra) a levegő mozgásából származó kinetikus energiát alakítják át elektromos árammá. Két típusa létezik: az akkumulátorra és a hálózatra tápláló rendszer. Ahhoz, hogy a berendezés működni tudjon, legkevesebb 3,5 m/s-os sebességű légmozgás szükséges. A névleges teljesítményt elérve a berendezést a vezérlőrendszere le szabályozza, nehogy a generátor túlterhelése jöjjön létre, vagyis hiába lesz nagyobb a szél sebessége, több energiát nem fog előállítani a szélturbina. Elérve a lekapcsolási sebességet, 25 m/s-t a legtöbb hálózatra tápláló rendszer leállítja önmagát, elkerülve a szélturbina mechanikai sérülését. [159]



62. ábra Szélérőgép vázlata [160]

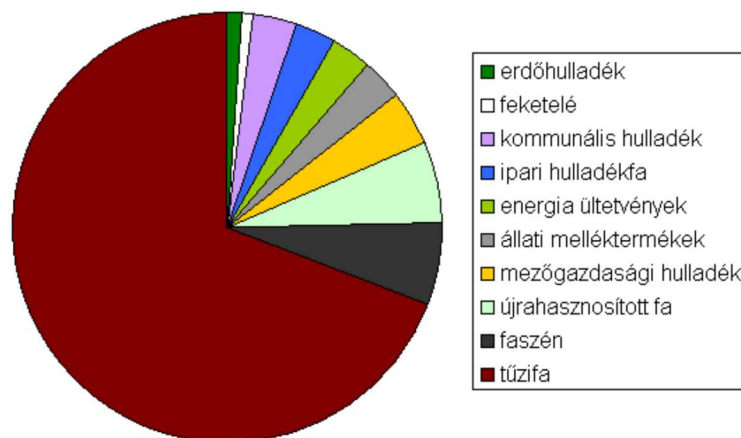
A *napenergia*, mely a szél mellett kimeríthetetlennek tekinthető, korlátlanul áll rendelkezésünkre. Hátránya a Föld alakjából és forgástengelyének dőlésszögéből adódóan, hogy nem mindegyik ország részesül ugyanakkora sugárzási értékből (trópusi övezetben több mint kétszerese a pólusokhoz képest). Aktív hasznosítása során termikus vagy fotovoltaikus módon fogják fel a Nap sugarait. Az előbbi megoldás során hőtermelést végez a napkollektor, míg a másodiknál elektromos áramot termel a napelem. A napsugárzás bár nagy mennyiségben érkezik a Földre, hátránya, hogy alacsony az energiasűrűsége, tehát a felfogó berendezések hatékonyságát szükséges növelni. A világ legnagyobb szolárenergia alkalmazói villamos áram termelésre: Kína, Japán és Európa. Ezenkívül újabban úgynevezett nap- vagy szolárszigeteket is gyártanak, melyeket tenger, illetve óceán felületén helyeznek el (Swimsol vállalat). [159]

A *vízenergiát* az édes és sós vizek mozgásából kinyert elektromos áram adja. Előnyt élveznek ennek az energiaforrásnak a hasznosításában azok az országok, melyek rendelkeznek óceán- vagy tengerparttal (hullámváz, ár-apály jelenségek, mélységhez kötődő hőmérsékletváltozás), magas hegyeik miatt nagy esésű folyók vannak. A világon 11000 darab édesvízre telepített vízerőmű található, melyek összteljesítménye 874 GW. Ennek az értéknek a 35%-át Ázsia, 27%-át Európa birtokolja (legnagyobb felhasználók: Norvégia, Svéd- és Franciaország). [159]

*Geotermikus energiát* a Föld belsejéből lehet kinyerni, melyek legmagasabb értéke a kőzetlemezek találkozásánál lelhető fel, ebből adódóan eloszlása nem egyenletes. Hőáramsűrűséggel jellemezhető, mely megadja egységi felületen és idő alatt átáramló hő mennyiségét. Átlagos értéke a bolygónkon  $87 \text{ mW/m}^2$ , hazánkban  $80$  és  $120 \text{ mW/m}^2$  közé esik. Előnye a többi megújuló energiaforráshoz képest, hogy kinyerését nem befolyásolja sem a

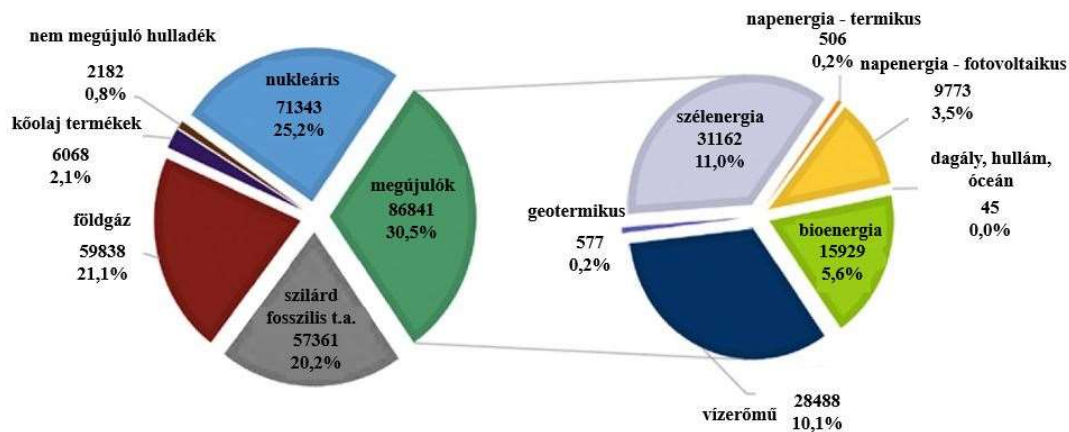
napszak, sem az időjárás. A második legnagyobb potenciálú lehetőségnek tartják, csak a napenergia előzi meg. Legnagyobb felhasználói az Amerikai Egyesült Államok, Mexikó, Fülöp-szigetek, Japán, Indonézia. Európában erre a célra igen előnyös térségek: Görög- és Törökország nyugati része, Olaszország középső tájai, illetve Izland. Magyarországon is kedvezőek az adottságok ennek az energiaforrásnak az alkalmazására. A geotermikus rendszernek két kialakítási lehetősége van: egykutas (visszatáplálás nélküli) és kétkutas (visszatáplálásos). A nagy nyomású, magas hőmérsékletű víz segítségével turbinákat lehet meghajtani, továbbiakban pedig elektromos áramot termelni. Kisebb rendszerek is léteznek, mint például a földhőszivattyú, amely épületek fűtését, hűtését, illetve használati melegvizét állítja elő a talaj vagy a talajvíz hőjének felhasználásával. [159]

A *biomassza* mutatja Földön a legegyszerűsebb eloszlást megújuló energiaforrásként, amely egyben a legmegosztóbb is, hiszen az emberi élelmezésre és állati takarmányozásra szánt növények is forrásai közé tartoznak. Éves hozama becslések szerint 4500 EJ<sup>27</sup>, melyből 2900 EJ bioenergiaállítható elő. Előnye, hogy alkalmazásával csak annyi szén-dioxid kerül vissza a légkörbe, melyet a növények használtak fel fejlődésükhöz. A 63. ábrán látható, hogy többféle alapanyaga létezik, és a továbbiakban közel ilyen sokrétű lehet a felhasználásuk is: tüzelőanyagok, üzemanyagok, elektromos áram készülhet belőlük, hőellátásban hasznosíthatják őket. A szilárd halmazállapotúak közé sorolják a fát is, melyet a háztartásokban fűtésre alkalmaznak, viszont az égetésekor távozó füstgázban több károsanyag is fellelhető (ennél jobb megoldásnak mutatkozik a pellet alkalmazása). A szilárd tüzelőanyagok mellett megjelent a biogáz is, amely nem csak energiatermelést szolgálja ki, hanem üzemanyagként is hasznosul a közlekedésben. [159]



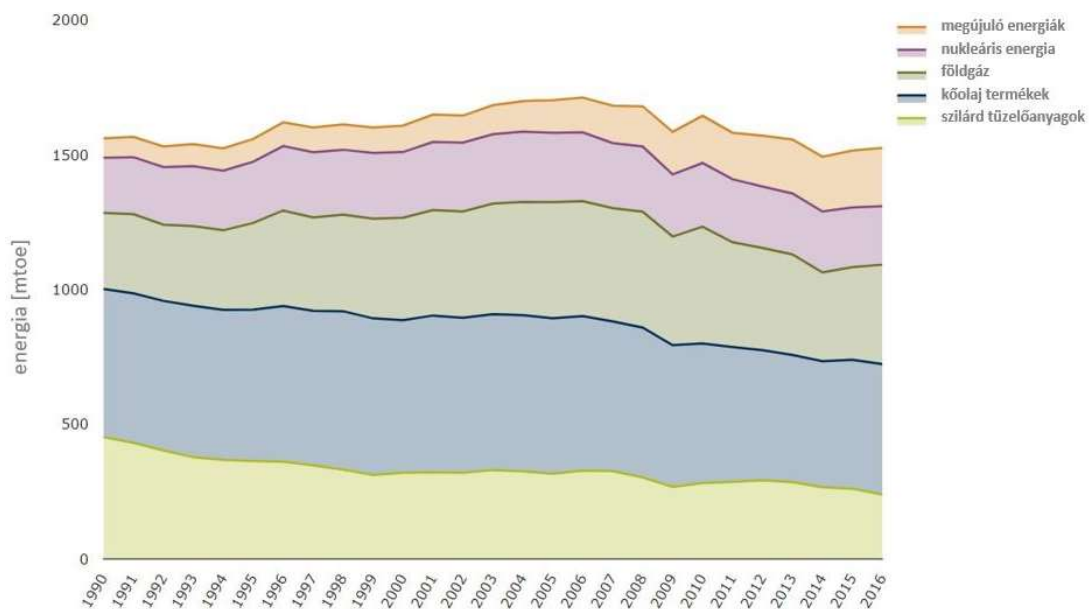
63. ábra A globális biomassza alapú energia forrásai [159]

<sup>27</sup> EJ: exajoule, amely egyenlő 10<sup>18</sup> J-lal



64. ábra Villamosenergia termelés forrásainak bruttó eloszlása az EU-ban [161]

A 64. ábra a villamosenergia termelés forrásainak eloszlását mutatja be, melyet az Eurostat 2017-es adatai alapján a BioEnergy Europe készített. A diagramon megjelennek adatok, mértékegységük a ktoe<sup>28</sup>, továbbá százalékos részarányuk is. Jól látható, hogy a megújuló energiaforrásoknak a legnagyobb a részesedése az elektromos áram megtermeléséből, de a fosszilis eredetűeket összegezve közel a felét szolgáltatják. Ha primer energia elhasználást vesszük alapul, akkor más részesedéseket kapunk (65. ábra). Ebbe a kategóriába tartoznak azok az energiaforrások, melyek rendelkezésre állnak megújuló, nem megújítható, illetve nem fosszilis formában [162].



65. ábra Primer energia eloszlás változása az EU-n belül [163]

<sup>28</sup> kilotonne of oil equivalent – kőolaj egyenérték kilotonna

A fenti ábrából kiolvasható, hogy a szilárd tüzelőanyagok jelenléte fokozatosan, a kőolaj termékekből létrehozott energia kis mértékben csökkent, míg a földgáz és a megújuló energiák alkalmazása növekedett, a nukleáris terület nagyjából stagnált.

Magyarországon a Központi Statisztikai Hivatal is rögzítette a primer energiafelhasználást energiaforrások szerint 2006-tól 2017-ig, amelyet 9. táblázat tartalmaz. Hasonlóan változnak az értékek az EU-ban is, de eltérés tapasztalható a megújuló energiaforrások alkalmazásánál, mely az adatok szerint 12 év alatt majdnem megduplázódott.

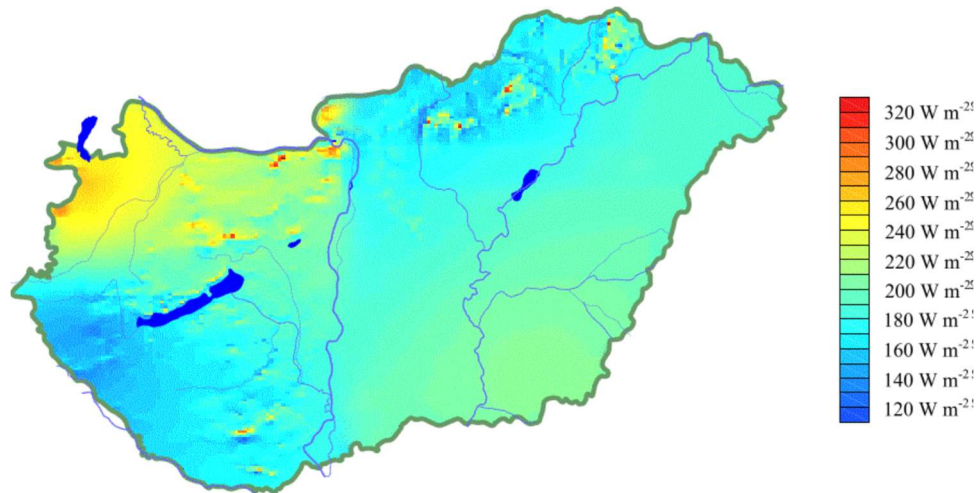
	Szén és széntermékek [TJ]	Kőolaj és kőolajtermékek [TJ]	Földgáz [TJ]	Megújuló energiaforrások [TJ]	Nukleáris energia [TJ]
<b>2006</b>	128630	319180	479580	74469	147468
<b>2007</b>	130988	314762	448104	81899	160681
<b>2008</b>	127588	304359	442076	86232	162234
<b>2009</b>	107298	290806	383098	109486	168823
<b>2010</b>	113811	283978	410876	119973	172471
<b>2011</b>	113079	270474	391555	125052	171648
<b>2012</b>	108370	253459	350659	127301	172846
<b>2013</b>	94250	244729	322554	134826	168208
<b>2014</b>	92426	274688	292307	125923	171525
<b>2015</b>	98605	293577	313585	133808	173576
<b>2016</b>	91722	294087	336104	135016	176014
<b>2017</b>	93736	318027	357629	132808	176475

9. táblázat Primer energiafelhasználás mennyisége összesen Magyarországon [164]

## II. 1. 2. MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI MAGYARORSZÁGON

Több kutató is foglalkozott Magyarországon a szélenergiával. Hegyfokó Kabos (1894) méréseivel kimutatta, hogy hazánk domborzati viszonyai befolyásolják a szél irányát. Réthly és Bacsó (1938) tanulmányukban bebizonyították, hogy a magassággal együtt növekszik a szél erő nagysága is, így arra a következtetésre jutottak, hogy a Kékestetőn a legnagyobb a légmozgás. Kakas (1947) széllel kapcsolatos méréseiből, vizsgálataiból levonta azt a következtetést, hogy alacsony tengerszint feletti magasságon kontinentális éghajlaton alacsony hatékonyságú a szélenergia alkalmazásának a lehetősége. Magyarország az európai osztályozás szerint a mérsékelt szél kategóriába tartozik, hazánkra inkább a gyenge széljárás a jellemző (leggyakoribbak az 1-3 m/s sebességűek, időtartamuk 1500-3000 óra közé esik). Legnagyobb

a légmozgás intenzitása észak-nyugati területeken, míg legkisebb a dél-nyugati és az észak-keleti részeken.



66. ábra Magyarország szélteljesítmény-mezője 120 m magasságra modellezve [159]

A 66. ábrán is jól látható, hogy hazánk észak-nyugati területén adottak a lehetőségek a szélenergia hasznosítására. Magyarországon 2011-ig 171 darab toronyból álló szélerőművet telepítettek, azóta egyet sem, melyek összteljesítménye 328,93 MW [165].

Magyarország bár bővelkedik földfelszín feletti és alatti vizekben egyaránt, a vízenergia hasznosítására nem kedvezőek az éghajlati és a domborzati feltételek. A két legnagyobb vízerőmű a jelenleg hazánkban lévő 23 közül a Kiskörei és a Tiszalöki Vízerőmű. Az előbbi beépített kapacitása 28 MW, az utóbbié 12,9 MW (összehasonlításképp: a Hoover-gáté 2080 MW). [159]

Hazánk geotermikus adottságai igen előnyösek, melyeket elektromos áram termelésben nem, csak a hőhasznosításban alkalmaznak. A technológia alkalmazása 2002-ben indult el, az Eurostat 2012-es adatai szerint 2009-ben Magyarországon 26–38 PJ energiát nyertek ki, de mindössze 4,13 PJ hasznosítottak. [159]

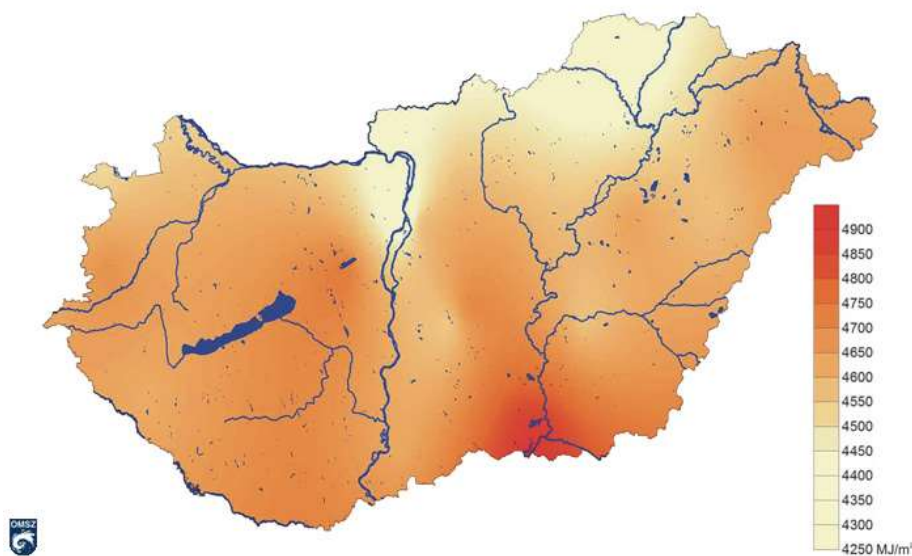
Lehetőségek vannak, amelyeket ki is aknáznak számos településen:

- Hódmezővásárhelyen egy uszodát, strandfürdőt és lakótelepet látnak el használati melegvízzel, fűtéssel, illetve fürdővízzel 8 kútból;
- Szentesen a kórház fűtéséhez, továbbá mezőgazdasági célokra használják fel;
- Cserkeszőlőn szintén uszodát látnak el vele, és egy lakóparknak a fűtését is ebből oldják meg;
- Mórahalmon 12 intézmény fűtés ellátásában alkalmazzák;

- Hajdúszoboszlón a fürdő használati melegvizét és fűtését szolgálja ki, továbbá a felszabaduló metánt gázmotorokban hasznosítják. [166]

A 9. táblázatból kitűnik, hogy hazánkban a biomassza megújuló energiaforrásként történő alkalmazása a legmagasabb a többi lehetőség közül. Főként elektromos áram előállítására alkalmazzák, melyet ennek elégetésével kapnak. Ilyen erőművek: a Mátrai erőmű (103 MW), a Pannongreen cégcsoport (85 MW), a Pécsi Erőmű (50 MW + 35 MW, fahulladék + szalma), az AES Borsodi Erőmű (80 MW), az Oroszlányi Erőmű (49 MW), az Ajkai Erőmű (33 MW), Bakony Bioenergia cégcsoport erőműve (30 MW). Ezek mellett vannak kisebb teljesítményű erőművek is Balassagyarmaton, Körmenten, Papkeszin, Szentendrén, Szombathelyen. A statisztikák szerint a biogázt 57%-ban mezőgazdasági telepek, 33,5%-ban szennyvíztelepek, míg 9,1%-ban hulladéklerakó telepek szolgáltatják. Hasznosítását szintén erőművek végzik, melyek Magyarországon az alábbi településeken lelhetők fel: Boly, Csongrád, Csorna, Nádudvar, Tamási, Tatabánya, Tiszakeszi, Városföld, de a legnagyobb, 4 MW kapacitású Nyírbátorban található. [159]

A Nap besugárzási energiájának mennyiségét az adott terület földrajzi szélessége, illetve a felette lévő felhőzet mennyisége határozza meg. A globál besugárzás (közvetlen és szórt sugárzás) legmagasabb értéke Magyarországon a Tiszántúl déli részén 4800-4900 MJ/m<sup>2</sup> közé esik, itt magas a napsütéses órák száma is, de hazánk nagy részén átlagban 4500 MJ/m<sup>2</sup> felett található, így a környezeti adottságok nagyrészt alkalmasak napenergiát alkalmazó rendszerek telepítésére (67. ábra). [167]



67. ábra A globálsugárzás átlagos évi összege (2000-2009 között) hazánkban [167]

A naperőművek telepítése egyelőre folyamatosan növekszik hazánkban. Míg 2010-ben az összkapacitásuk 2 MW volt, addig 2018-ra ez 640 MW-ra emelkedett. Ezek között kisebb és nagyobb termelékenységűek is vannak, mint például Sellyén (0,499 MW), Szombathelyen (0,385 MW) vagy Pécsen (10 MW), Visontán (16 MW). Észrevehető, az évek múlásával egyre nagyobb kapacitású naperőműveket építettek. Az MVM csoport 2018-ban Felsőzsolcán 2018-ban egy 20 MW kapacitású fotovoltaikus rendszert telepített, melyet 2019 elején Pakson követett egy még nagyobb teljesítményű, 20,6 MW-os, amely megközelítőleg 20.000 embernek 8500 háztartásában fog elektromos áramot szolgáltatni. Szintén 2018-ban Százhalombattára a MET csoport elhelyezett egy 17,6 MW kapacitású naperőművet, megelőzve ezzel a Mátrai Erőmű 16 MW-os rendszerét. Az Alteo Csoport is érdekelt ebben az iparágban, de kisebb egységekkel van jelen. 2018. decemberében Monor mellett indult be az elektromos áram termelés 4 MW kapacitással, és a vállalat 2019 júniusában beindította Balatonberényben a 6,9 MW-os, illetve Nagykőrösön a 7 MW-os naperőművét. [168][169][170]

Nem csak naperőművek léteznek, hanem alacsonyabb kapacitású rendszerek is jelen vannak, amelyek kisebb igényeket tudnak kielégíteni. Ilyenek például a háztetőkre, kertekbe telepítettek, de egyéb ötletes megoldások szintén vannak az elhelyezésekre, mint például a Debreceni Egyetem Szolnok Campusának parkolójába installált (68. ábra).



68. ábra Solar Carport napelempark a Debreceni Egyetem Szolnok Campusának parkolójában [171]

Magyarországon évről-évre folyamatosan növekszik a megújuló energiaforrások alkalmazása, melyet a 10. táblázat is jól szemléltet. Így biztosítva látszik az energiafelhasználáshoz köthető CO<sub>2</sub> kibocsátás csökkentése.



	Vízerő- művi [ktoe]	Szélerő- művi [ktoe]	Geoter- mális [ktoe]	Napener- gia [ktoe]	Szennyvíz- telepi gáz, depóniagáz, egyéb biogáz [ktoe]	Bioüzem- anyagok [ktoe]	Biomassza és kommu- nális hulladék megújuló része [ktoe]
2006	16,0	3,7	86,0	2,0	12,2	10,9	1583,9
2007	18,1	9,5	86,0	2,5	16,7	16,9	1703,1
2008	18,3	17,6	95,5	3,9	21,8	162,1	1690,7
2009	19,6	28,5	96,2	4,6	30,9	153,3	2223,0
2010	16,2	45,9	98,6	5,5	36,2	141,5	2399,4
2011	19,1	53,8	104,4	6,7	60,7	142,4	2469,4
2012	18,3	66,2	107,2	9,2	53,0	281,5	2597,3
2013	18,3	67,1	112,7	10,9	79,7	305,2	2724,7
2014	25,9	56,5	90,7	15,5	79,4	305,9	2406,5
2015	20,1	59,6	105,7	22,8	79,7	382,4	2578,5
2016	22,3	58,8	120,0	32,1	88,6	410,4	2467,4
2017	18,9	65,2	133,2	41,8	91,9	421,1	2405,7

10. táblázat A megújuló energiaforrásokból és hulladékból termelt primer energia mennyisége energiaforrások szerint [164]

## II. 2. LÉGIJÁRMŰVEK REPÜLŐTÉREN TÖRTÉNŐ MOZGATÁSA

A repülés fázisához tartozik a földön történő gurulás (taxizás), felszálláskor a repülőgép az állóhely és futópálya közötti szakaszon hajtóműveit járattva, forgalmi okokból esetenként meg-megállva, illetve a leszállás után a parkolóhelyéig. Eközben a feltöltött tüzelőanyag mennyiségének 2-4%-át is elhasználja fel. Csak az e célból történő tüzelőanyag fogyasztás egy nagyforgalmú repülőtéren elérheti a napi 44 tonnát [172]. Eközben a maximális tolóerejének 7%-át használja körülbelül 26 percig [23]. Ha a taxizás alatt más lehetőség is kínálkozna a repülőgépek mozgatására, mint önerejük, akkor kevesebb károsanyag kerülne a környezetbe, mivel tüzelőanyagukat nem égetnék el, továbbá a hajtóművek amortizációja (főleg üzemidő felhasználása) is csökkenhetne, valamint a talajról nem szívna fel idegen anyagot, amelyek sérülést okozhatnak a kompresszorban. Jelenleg már több alternatíva is létezik e problémák megoldására.

Az egyik opció a TaxiBot elnevezésű push-back (toló-vontató) gépjárművek alkalmazása, melyeket az Airbus és IAI (Israel Aerospace Industries) fejlesztett ki. Két változatát hozták létre: NB (Narrow Body) és WB (Wide Body). Az előbbit kisebb méretű, egyfolyosóval ellátott, míg az utóbbit nagyobb méretű, kétfolyosóval rendelkező repülőgépek mozgatására szolgál. A TaxiBot használatakor (69. ábra) az rendszerint megemelik az orrfutóművet és így halad a gurulóút végéig, vagy leszálláskor az állóhelyig, ahol lekapcsolódik a légijátműtől, és visszatér parkolóhelyére vagy indul egy másik repülőgép kiszolgálására. Nedves vagy jeges úton ezzel a megoldással nagyobb tapadást érhető el, mint a repülőgép

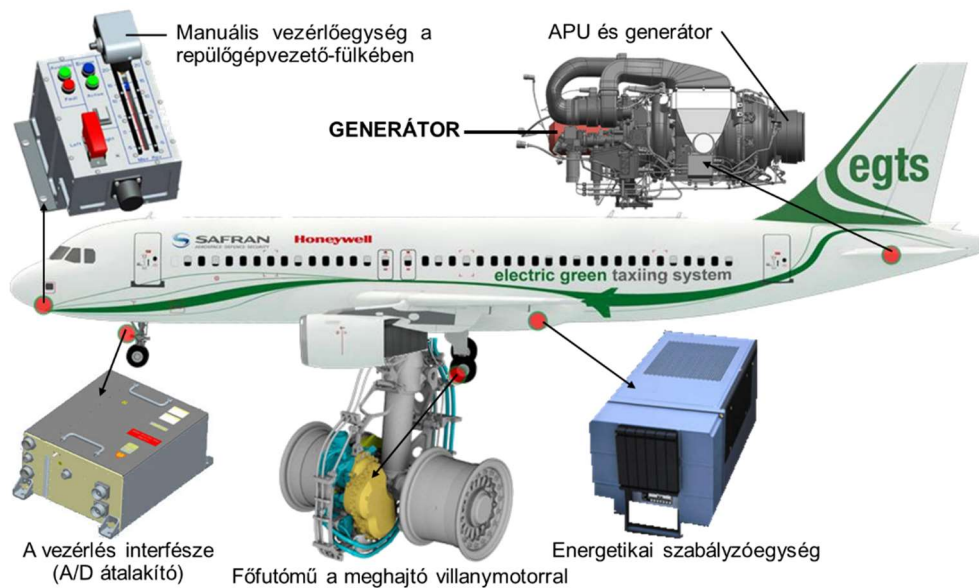
önerejű gurulásakor. 2018. október 29-e óta Indiában a New Delhi Nemzetközi repülőtéren már alkalmazzák a TaxiBot-ot, mely tanúsítása során megállapították, hogy segítségével 85%-kal kevesebb tüzelőanyagot fogyasztott el a repülőgép a taxizás folyamata alatt. [173][174][175]



69. ábra TaxiBot vontatás közben [175]

Kísérleteznek olyan kialakítással is, hogy a toló vontató járművet közvetlenül a repülőgépvezető irányítsa a repülőgép vezetőfülkéjéből, a leoldást követően pedig GPS-koordináták alapján tér vissza a megadott helyére.

Léteznek olyan megoldások is a hajtóművel történő gurulás helyett, amelyeknél elektromos motort szerelnek a fő- (EGTS – Electric Green Taxiing System) vagy az orrfutóműre (WheelTug). Mindkettőt a segédhajtóműről táplálják. Az EGTS (70. ábra) fejlesztése 2011-ben kezdődött, és a Honeywell, illetve a Safran vállalatok vettek részt benne. 2013-ban mutatkozott be a párizsi Air Show-n, majd ezt követően az Airbus-szal szándéknyilatkozatot írtak alá a fejlesztők, hogy az A320-as repülőgép családba beépítik. A rendszer saját tömege 300 kg, a vele elérhető maximális sebesség 20 csomó (37 km/h), melyet egy beépített egység segítségével a pilóta kezel a pilótafülkéből, mint a WheelTug esetén is. Nemcsak tüzelőanyagot lehet vele megtakarítani (számítások szerint 4%-ot), hanem csökken a károsanyag-, zaj kibocsátás, a hajtómű üzemidő felhasználás, illetve a fékek élettartama is nőhet az alkalmazásával. [176][177][178]



70. ábra Főfutóműre szerelt EGTS – Electric Green Taxiing System [62]

A WheelTug (71. ábra) első tesztjére 2005-ben került sor, és 2014 júniusában az Icelandair-rel szerződést kötöttek a berendezések vásárlására. A gyártó elmondása szerint egy repülőgéppel 700 000 US dollárt takaríthatnak meg a légitársaságok évente a WheelTug akár utólagos felszerelésével, továbbá előnye, hogy lízingelni is lehet. Az általa elért legnagyobb sebesség 7 és 10 csomó (13-19 km/h) között változik, az orrfutómű kereke 90°-ban elfordítható oldalirányban, segítségével könnyebben tud a pilóta manőverezni a kapuhoz, ahol az utasok ki- és beszállnak. [176][177][178]



71. ábra WheelTug rendszer elhelyezése az orrfutóművön [179]

A Mototok, akkumulátorral ellátott elektromos, toló-vontató eszköz (72. ábra), melyet vezetékes vagy rádiós távirányítású egységgel lehet vezetni. Jelenleg négy típusa létezik (M és

Twin sorozat, Spacer, Helimo) különböző nagyságú, tömegű légi járművek mozgatásához. Orrfutóműre 10-15 mp alatt csatlakozik, azt megemeli, majd vontatni kezdi, így nem okoz gondot a vizes, jeges vagy a havas felület sem. Feladatát befejezve leválik a kerékről, így a repülés alatt nem terheli a repülőgépet. 6 t-tól 195 t-ig (Spacer változat) terjed a terhelhetősége, a legnagyobb sebessége 6 km/h, mely elmarad az előző bekezdésekben bemutatott berendezésektől. Típustól függően 4 db 115 vagy 220 Ah-s akkumulátor található benne, melyek töltési ideje 3 óra. Ezzel a teljesítménnyel és napi 30 hangárban történő mozgatást figyelembe véve 3-4 napig képes működni. Alkalmazásával akár 50%-os helymegtakarítás is elérhető a repülőgépek fedett tárolása esetén. Több légi jármű gyártó vállalat (Airbus, Boeing, Bombardier), repülőtér (Dublin, London, Moszkva, Bern, Chicago stb.), különböző országok hadserege (Kína, Dánia, Franciaország Haditengerészete, Amerikai Egyesült Államok Nemzeti Gárdája) is alkalmazza a Mototok berendezést. Az utóbbi felhasználók számára a Twin modell speciális változatát (LB) ajánlja a gyártó, amely vízálló (sós víz esetén is) kivitel, éjszakai üzemhez piros jelzőlámpákkal ellátott, a finom manőverek elvégzéséhez mind a négy kereke kormányozható, így repülőgép-hordozón is alkalmazható. [180]

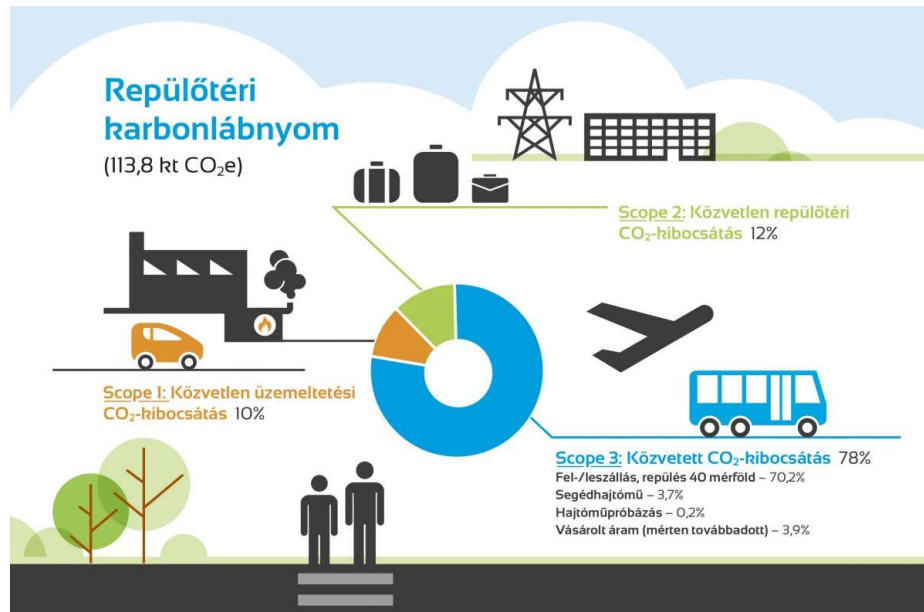


72. ábra Mototok Twin LB alkalmazása Airbus AS332 Super Puma-n [180]

### II. 3. KÖRNYEZETBARÁT REPÜLŐTEREK

A világon egyre több repülőtér válik kisebb vagy nagyobb részben környezetbaráttá, de észrevehető, hogy manapság az üzemeltetők törekednek ennek megvalósítására, már csak azért is mert egyre szigorodó ilyen követelményeket is támasztanak velük szemben. Cél, hogy a légi járművek energiafogyasztása, hulladéktermelése és szén-dioxid kibocsátása csökkenjen, és

megújuló energiaforrások segítségével biztosítsák működésüket. Ehhez segítséget nyújt az ACI<sup>29</sup> az általuk létrehozott „Repülőterek szén-dioxid akkreditációja” című programmal.



73. ábra A Budapest Airport karbonlábnyomának összetétele [181]

A 73. ábrán látható a Budapest Airport karbonlábnyomának az összetétele. Három fő részre oszlik a repülőtér szén-dioxid kibocsátása: közvetlen üzemeltetésire, közvetlen repülőtérre és közvetettre, amelyek magukba foglalják az utasok kijutását a repülőtérre, a repülőgéppel történő utazásukat, a kiszolgáló földi egységek működését, illetve a repülőtér működéséhez szükséges energia megtermelését. Bár ez az ábra a budapesti repülőtér CO<sub>2</sub> kibocsátásának eloszlását mutatja meg, de valószínűsíthető, hogy a világ többi részén megtalálható ilyen fejlettségű légitársaságoknál is hasonló arányban állnak.

A bostoni Logan Nemzetközi Repülőtér az Amerikai Egyesült Államokban elsőként kapta meg a LEED<sup>30</sup> tanúsítványt. Ezt olyan közösségi vagy otthonként funkcionáló épületeknek ítélik oda, amelyek költségtakarékosak, az energiát hatékonyan használják fel, a fenntartható fejlődésbe illeszkednek. A repülőtér energiaellátásáról szélturbinák, illetve napelemek gondoskodnak, a tetőszerkezet és az építmény körül lévő járdák felülete visszatükrözi a hőt, a vízfelhasználás csökkentését energiatakarékos csaptelepek támogatják. Az egyik futópálya felújítása során olyan környezetbarát aszfalt keveréket alkalmaztak, mely kisebb hőfokon kell melegíteni a kivitelezés során, így egyben energiát is spóroltak, amely széndioxid csökkentéshez vezetett. Továbbá a repülőgépek számára minden utaskapuhoz telepítettek tápellátást szolgáló berendezést, így nem kell a légitársaságoknak az APU-ját használniuk,

<sup>29</sup> Airports Council International – Repülőterek Nemzetközi Tanácsa

<sup>30</sup> Leadership in Energy and Environmental Design – Vezető az energia és környezetvédelmi kivitelezésében

míg megközelíti az utasok számára fenntartott be- és kiszálló helyet. A repülőtér vezetősége gondolt az alternatív meghajtású gépjárművekre is: CNG üzemű és elektromos meghajtású autók számára töltőhelyeket létesített. [182][183]

Az USA-ban a legnagyobb kapacitású naperőművel a Denveri Nemzetközi Repülőtér rendelkezik a kereskedelmi légikikötők között. Közel 20 féle anyagot hasznosítanak újra a szelektív hulladékgyűjtés segítségével: a papírt, az alumíniumot, a műanyagot, a használt sütőzsiradékot, még a repülőgépek jégtelenítésére szolgáló folyadékot és az építési törmeléket is, továbbá évente 200 t szerves hulladékot komposztálnak. A repülőtér területén sok helyen, a mosdókon kívül, vízvételi helyeket alakítottak ki, amelyekből palackjaikat megtölthetik az utasok. Denverben a nagymértékben napenergiával táplált repülőtéren (74. ábra) is tápellátó egységeket szereltek fel az utaskapukhoz, melyből áramot tud nyerni a repülőgép, emellett előkezelt levegőt is tudnak biztosítani a légijármű légterébe, így csökkenteni lehet a lég- és zajszennyezést. [182][183]



74. ábra A Denveri Nemzetközi Repülőtér naperőműve [182]

Az Egyesült Államokban a LEED<sup>31</sup> tanúsítvány arany fokozatát elsőként a San Francisco nemzetközi repülőtér 2-es számú terminálja nyerte el. Csak úgy, mint a denveri vagy bostoni légikikötő, az APU működését kiváltó tápegységgel látták el az utaskapukat. Kedvezményes parkolást biztosítanak az elektromos és a hibrid gépjárműveknek, továbbá a számukra a garázsban töltésükre használható villamos aljzatokat szereltek fel, illetve a hidrogén üzemű autók számára létesítettek tankolásra szolgáló állomást. Természetesen a hulladékot

---

<sup>31</sup> Leadership in Energy and Environmental Design – Vezető az energia és környezetvédelmi kivitelezésében; világszerte alkalmazott „zöld” épület tanúsítási program.

szelektíven gyűjtik, elkülönítve tárolják. Az élelmiszer beszállítókkal, illetve a kereskedelmi egységekkel szemben elvárás, hogy biológiailag lebomló, komposztálható csomagolásban szállítsák, szervírozzák az ételeket, italokat. Vízvételi helyek számát bővítették a repülőtérén belül, így az utasok palackjaikba sok helyen tudnak vizet tölteni. [183]

Ázsiában is egyre több környezetbarát légikikötő létesül. Szingapúrban a Changi Repülőtér 4-es terminálját az energiahatékonyság jellemzi. Tetőablakokat szereltek fel, hogy minél több természetes fény jusson az épület belsejébe, a növényekkel ültették be a falakat, melyekkel tisztább levegőt és kellemes hőmérsékletet tudnak teremteni. Víztakarékos csaptelepeket, mozgásérzékelős, energiatakarékos világítást és napelemeket szereltek fel. Ebbe a kategóriába sorolható az Indiában, Delhiben található Indira Gandhi Repülőtér is. 1200 darab alacsony fogyasztású LCD képernyőn olvashatók az utasok számára fontos információk, az esővizet 300 helyen gyűjtik össze, és a talajeróziót megakadályozva olyan csatornát alakítottak ki, amely a viharok során jelentkező nagy mennyiségű csapadék felfogására is alkalmas. Az utasok és a poggyászok szállításáról elektromos gépjárművek gondoskodnak. [182]

Talán a legzöldebb és legkörnyezetbarátabb repülőtér a Galápagos-szigeteken található. Elektromos energiáját a szélturbinák (65 %-ban) és a napelemek (35 %-ban) szolgáltatják, mely utóbbiak a járdák felületére vannak elhelyezve. Tiszta vizet az óceánból nyernek, sótalanítva, tisztítva, emberi fogyasztásra alkalmasan kerül a hálózatba. A keletkező szennyvízből szűrkevizet szintén felhasználják a terminálon. A repülőtér kivitelezésekor, 2012-ben, az építési anyagok 80 %-a újrahasznosított volt. [182]

Környezetbarát légikikötők Európában is találhatóak. A zürichi repülőtér nagy figyelmet szentel a repülőgépek által kibocsátott zajszennyezés csökkentésére. Méréseik és számításaik alapján díjat számolnak fel zajszint túllépés esetén a légitársaságoknak, amelyet légijármű kategóriákhoz, illetve típusokhoz kötöttek. A repülőtér 1991 óta 30 %-kal csökkentette a szén-dioxid kibocsátását, és az elkövetkezendő időszakban ezt folytatni kívánják. Napelemeket alkalmaznak energiatermelésre, amelyeket a repülőgép hangárok tetejére, továbbá a parkolók felett helyeztek el. A padlózatba fektetett úgynevezett energia kötegek a fűtést, hűtést biztosítják. Az esővizet összegyűjtve, a toalettök öblítésére használják, emellett a jégmentesítéskor alkalmazott vizet is újrahasznosítják. Az angliai East Midlands Repülőtérén is nagyon szigorúan veszik a repülőgépek zajterhelését, melyet megfigyelő programmal ellenőriznek, és a meghatározott szint átlépése esetén bírságot szabnak ki a légitársaságra. A szélenergia hasznosítására két darab elektromos áramot termelő szélturbinát állítottak fel, szelektív hulladékgyűjtés folyik a terminál egész területén, továbbá vizsgálat alá

vonják a repülőtéri gépjárművek károsanyag kibocsátását. 2017-ben bővítették az oslo-i légikikötő terminálját. A kivitelezés során újrahasznosított, illetve természetes anyagokat használtak fel. Érdekessége az épület hűtésében rejlik, ugyanis a futópályákról összegyűjtött, tárolókban elhelyezett hóval biztosítják ezt nyáron. 2009-ben a stockholmi Arlanda Repülőtér már elérte a szénszemlegességet. A területén található különböző funkciójú épületek fűtését biotüzelőanyaggal végzik. Ezt a vizet télen kisméretű beton csatornában elvezetve jégteleníteni tudják hangárok melletti ajtókat és a rámpákat. Ezekkel a megoldásokkal, illetve az alacsony fogyasztású LED izzókkal sikerült körülbelül 30%-ot csökkentenie a repülőtér energiafogyasztását 2005 és 2012 között. [182][183]

A budapesti Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér fűtésének, hűtésének és világításának mennyisége megfelel egy kisebb magyar városénak, ezért is döntöttek úgy az üzemeltetők még 2008-ban, hogy a korszerűsítés, amely az évek alatt fokozatosan meg is történt. Alacsony fogyasztású LED izzókat helyeztek el, folyamatosan cserélik le a repülőtéri gépjárműveket elektromos meghajtására. A fejlesztések eredményei oda vezettek, hogy egy utasra számított szén-dioxid kibocsátása 44%-kal csökkent 2013-hoz képest, továbbá az energiatermelése és felhasználása kiegyenlítődött, elérve a karbon-semleges szintet. Így Közép-Kelet Európában a repülőterek között elsőként vehette át az erről szóló ACI tanúsítását 2018 áprilisában. Ezt évente meg kell újítani, de a Budapest Airportnak 2019-ben is sikerült megkapnia. Az elkövetkező évek vállalása részükről, hogy további 10%-kal tervezik csökkenteni a repülőtér szén-dioxid kibocsátását egy utasra vetítve a 2016-os szinthez mérve. A fejlesztések tovább folytak: hangárok, épületek hőszigetelését korszerűsítette, úgynevezett karbon krediteket vásárolt egy kínai szélenergiafejlesztőtől, létrehozták a Budapest Airport Green Partner programot, amely a légiközlekedéssel kapcsolatos klímavédelemmel foglalkozik. Különböző intézkedéseket foglaltak meg, hogy a repülőtér szén-dioxid kibocsátását csökkenteni lehessen: energiafelhasználás redukálása, megújuló energiaforrások bevonása az energiatermelő rendszerbe, szelektív hulladékgyűjtés folyamatának megerősítése, illetve elektromos gépjárművek használatának növekedése (74. ábra). Ebbe a programmal kívánják a repülőtér üzemeltetői ösztönözni a légikikötő területén működő szervezeteket a környezetvédelemre. Állami részről már csatlakozott a kezdeményezéshez a Magyar Posta repülőtéri Kicserélő Központja, a NAV repülőtéri kirendeltsége és a HungaroControl vállalat is. [184][185][186]





75. ábra Energiaellátási korszerűsítések a Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtéren [185]

A Budapest Airport csatlakozott egy konzorciumhoz, amelynek tagjai három repülőtér (brüsszeli, athéni, toulouse-i), illetve különböző vállalatok, kutató és tudományos intézetek, kormányzati szervek. Ez a társulás létrehozott egy fenntarthatósági projektet STARGATE (Sustainable AiRports, the Green heArT of Europe – Fenntartható Repülőterek, Európa Zöld Szíve), mellyel sikeresen pályázott, és támogatást nyert az Európai Bizottságtól. A projekt az európai Green Deal-hez kapcsolódik, célja fenntarthatóbbá tenni a repülőtereket, kiemelten az üzemeltetésüket. A pályázatban vállalták a tagok, hogy erre a problémára megoldásokat fognak kifejleszteni, majd tesztelni, végül pedig a megvalósítani. Ezekhez tartozik a repülőterek működési folyamatának 3D-ben történő lemodellezéséhez szükséges digitális ikertechnológia, illetve felhőalapú légiáru-kezelési rendszer kifejlesztése, bevezetése, intelligens közlekedési csomópontok létrehozása és fenntartható repülőgép tüzelőanyag gyártásához kapcsolódó gazdasági modellek, elemzések készítése. [187]

Nemcsak a polgári repülőterek vannak be energiaellátásukhoz megújuló energiaforrásokat, hanem katonaiakat is. Nevadában a Nellis Légierő Bázisra napelemeket telepített 2007 áprilisában a SunPower vállalat (76. ábra). Ez a naperőmű 57 hektáron terül el, 14 MW energiát állít elő, így a bázis villamos áram szükségletének 25%-át fedezi, továbbá 24000 tonnával csökkenti az épületek szén-dioxid kibocsátását 30 év alatt. Üzembehelyezésekor Észak-Amerika legnagyobb naperőművének számított, melynek feladatai az energiatakarékosság, illetve az energiabiztonság fenntartása 12.000 ott dolgozó ember számára. A légierő bázis ezzel a berendezéssel megbecsülve évi 1 millió US dollárt tud megtakarítani. 2015-ben tovább terjeszkedett a naperőmű; teljesítményét további 15 MW-tal emelték. [188]



76. ábra Naperőmű a Nellis Légierő Bázison Nevadában [189]

Az Amerikai Egyesült Államok Légierőjének az a terve, hogy majd minden légi bázisra telepítsenek napelemeket. Ennek az elképzelésnek nemcsak az előbb bemutatott nevadai bázis a példája, hanem az Arizonában elhelyezkedő Davis-Monthan Légierő Bázis is (77. ábra). Ezen a helyen 2013-ban kezdődtek meg a munkálatok a napelemek telepítésével kapcsolatosan. Az összteljesítmény 16,4 MW, amely a bázis nappali elektromos áram igényének 100 %-át, míg a teljes szükséglet több, mint 40 %-át elégíti ki. E beruházások célja az amerikai légi bázisok számára az energiabiztonság, a rugalmas energia pótlás mellett, természetesen a működési költségek csökkentése is, amely erre a bázisra vonatkozóan 500000 US dollár évente. [190]



77. ábra Naperőmű a Davis-Monthan Légierő Bázison Arizonában [190]

Természetesen a napelemek telepítéséből a napsütésben bővelkedő Kalifornia sem maradt ki. 2018 áprilisában adták át hivatalosan a 28 MW összteljesítményű napelemes rendszert a Vandenberg Légierő Bázison. Ez a naperőmű képes a bázis elektromos energia igényének 30%-át biztosítani. [191]

Fotovoltaikus kiserőművek a Magyar Honvédség részére is telepítettek a KEHOP 5.2.11-16-2017-00185 azonosító számú projekt keretében. Ez három városban lévő ingatlanokat érintett: Győrben az MH 12. Arrabona Légvédelmi Rakétaezredet, Budapesten az MH Vitéz Szurmay Sándor Budapest Helyőrség Dandárt és Balatonkenesén az MH Rekreációs, Kiképzési és Konferencia Központot. Győrben található napelemrendszer teljesítménye 200 kWp<sup>32</sup> (talajra telepített, 78. ábra), addig a budapesti és a balatonkenesei kiserőmű 150 kWp-vel (épületek tetejére telepített) szolgálja ki a felhasználókat. [192]



78. ábra Napelemes kiserőmű a győri laktanyában [193]

Ezeket megelőzően is telepítettek fotovoltaikus rendszereket KEHOP projekt segítségével összesen 13 helyszínen [194]. Az egyik helyszín a tatai MH 25. Klapka György Lövészdandár laktanyája, ahol 204 db napelem táblát szereltek fel az egyik épület tetejére (78. ábra). A rendszer segítségével az egész éves energiateljesítmény felhasználás 8%-át (55.000 kW) tudják kiváltani [195]. E fejlesztések egyaránt szolgálják a környezetvédelmet, illetve az üzemeltetés gazdaságosabbá tételét.

---

<sup>32</sup> kWp: kilowattpeak. Napelemek esetében alkalmazott mértékegység, amely „laboratóriumi közegben, adott feltételek mellett hozott legjobb teljesítmény, de külön hangsúlyozandó, hogy a valós használatban a termelés eltérhet ettől”. <https://napelemrendszer.info/milyen-mertekegyseget-hasznalunk-a-napelemekhez.html>



79. ábra Napelemes rendszer a tatai laktanyában [195]

A Pápai Bázisrepülőtéren is alkalmaznak megújuló energiaforrást, de az előző példától eltérően itt a Föld hőjét használják ki. 2013-ban kezdődött a NATO által is támogatott beruházás, amely keretein belül megterveztek, és kiviteleztek egy talajszondás hőszivattyús rendszert (80. ábra). Feladata, hogy fűtsön, illetve hűtsön egy hangárkomplexumot. A kivitelező, a HIDRO-GEODRILLING Geotermikus Energiát Hasznosító Kft. két szondamezőt hozott létre, melyekbe 270 db, 100 m mély szonda került; ezek 11 db osztó-gyűjtő aknához csatlakoznak. A rendszer teljesítménye fűtés esetében 1650 kW, míg hűtéskor 720 kW. A hőközpontot, melyet a földhős rendszer kiszolgál 2018-ban adták át. [196]



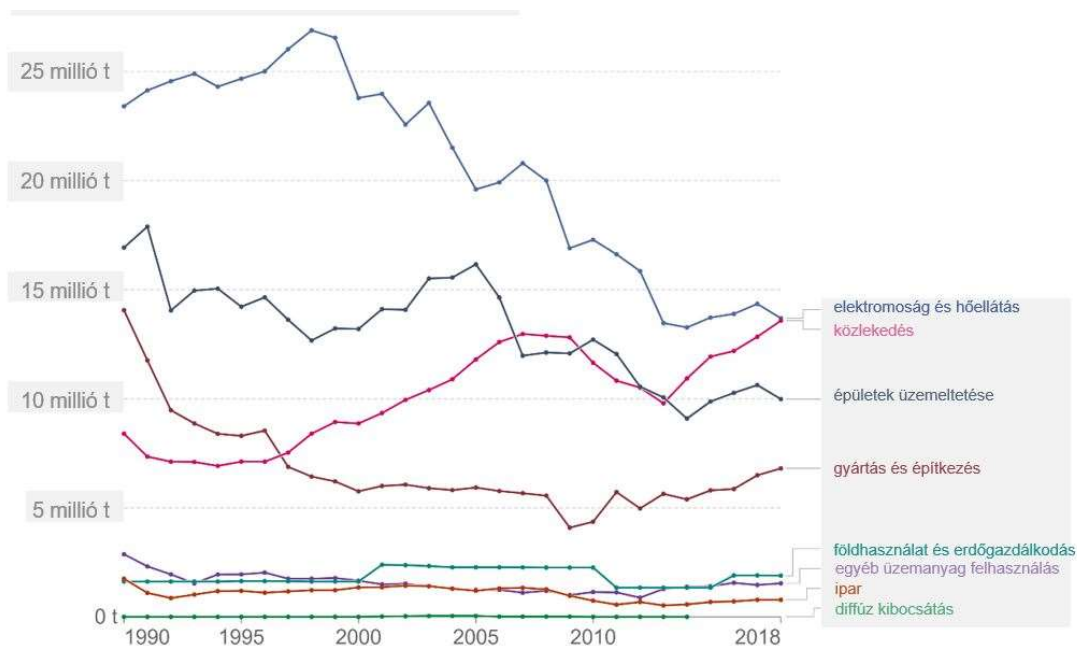
80. ábra Talajszondák elhelyezése Pápán [196]

### III. A REPÜLŐTEREK GAZDASÁGOSABB ÜZEMELTETÉSÉNEK

#### LEHETŐSÉGEI

Az Európai Zöld Megállapodásban (European Green Deal – EGD) is belefoglalták az épületek energiahatékonyságának növelését. Az ebben foglaltak szerint 2050-re csökkenteni kell az Európai Unió területén lévő épületek szén-dioxid kibocsátását. Ez felújításokkal, korszerűsítésekkel érhető el, amely folyamat végén nem csak a CO<sub>2</sub> kibocsátása fog csökkenni az épület(ek)nek, hanem az energia felhasználása is, maga után vonva a kisebb rezszi költségeket. Az Európai Zöld Megállapodásért felelős ügyvezető alelnök szerint ezek a lépések gazdasági fellendülést, magasabb aktivitást hozhatnak, és új munkahelyeket teremthetnek. Az EU-ban a legnagyobb energiafogyasztók az épületek, amelyek részesedése 40%, mindamelllett az európai üvegház hatású gázok kibocsátásának 36%-át adják. A Bizottság javaslatára 2030-ra minden új épületnek CO<sub>2</sub> kibocsátás mentesnek kell lennie, az új középületek esetében ez a határidő 2027. Ahhoz, hogy ez a feltétel teljesülhessen, az építményeknek kevés energiát kell felhasználniuk, mindezt a legnagyobb mértékben megújuló energiaforrásokból szükséges fedezniük, és helyileg nem szabad szén-dioxidot kibocsátaniuk. Nem csak az új építésű ingatlanoknál adtak javaslatokat, hanem a felújítás előtt állókra is. E a területen szintén két fontos dátum a 2027 és a 2030. Ezekre az időpontra kell az energiatanúsítvány által meghatározott G szintjéről F-re növelni köz- (előbbi), illetve a lakóépületek (utóbbi) 15%-ának a besorolását az egyes tagállamok területén, amelyek belekerülnek az országok nemzeti energia- és klímatervébe. Ezekben különböző ütemtervek is tartalmaznak például a fűtés-hűtés területen a fosszilis energiahordozók alkalmazásának csökkentésére, megszüntetésére 2040-ig. Ezekhez tudja igazítani az EU a finanszírozásokat, illetve ellenőrizni az előrehaladásukat. [197]

Magyarországnak is vannak stratégiái a környezetvédelemmel, klímaváltozással kapcsolatosan összhangban az európai irányelvekkel. Ezek közé tartozik a Magyarország nemzeti energia és klímaterve, a Nemzeti energiastratégia 2030, a Megújuló Energia-hasznosítási Cselekvési Terv 2010-2020, a Nemzeti Energiahatékonysági Cselekvési Terv 2020, illetve a Nemzeti Épületenergetikai Stratégia (NÉeS). Utóbbi feladatai közé tartozik különböző célok, irányok megfogalmazása, amelyek a hazai épületállomány korszerűsítését, illetve energiateljesítményük csökkentését teszik lehetővé, igazodva a nemzeti energiastratégiában megfogalmazottakhoz.



81. ábra Magyarország szén-dioxid kibocsátása ágazonként [198]

Az 81. ábra jól mutatja, hogy 2018-ban Magyarországon az épületek üzemeltetése által 9,98 millió tonna szén-dioxid jutott a légkörbe, amely az ágazatokat tekintve a harmadik legnagyobb értéket képviseli (az elektromosság és hőellátás 13,69 millió tonnával, illetve a közlekedés 13,58 millió tonnával). Ahhoz, hogy ezt az értéket csökkenteni lehessen, és Magyarország megfeleljen az Európai Unió által támasztott követelményeknek, célokat kellett megfogalmazni ezzel kapcsolatban:

- „Harmonizáció az EU energetikai és környezetvédelmi céljaival.
- Épületkorszerűsítés, mint a lakosság rezsiköltség csökkentésének egyik eszköze.
- A költségvetési kiadások mérséklése.
- Az energiaszegénység mérséklése.
- Munkahelyteremtés.
- ÜHG kibocsátás-csökkentés.” [199]

Általánosságban elmondható, hogy az Európai Unióban az épületek energiafogyasztásának nagyjából 80%-át a fűtés, hűtés és a használati melegvíz előállítás, míg a maradék 20%-ot az elektromos áram felhasználása teszi ki [197]. A megfogalmazott intézkedések is ezekhez kapcsolódnak, melyek az új építésű ingatlanokra és a felújításra szoruló épületekre, illetve energiamegtakarításokra is vonatkoznak:

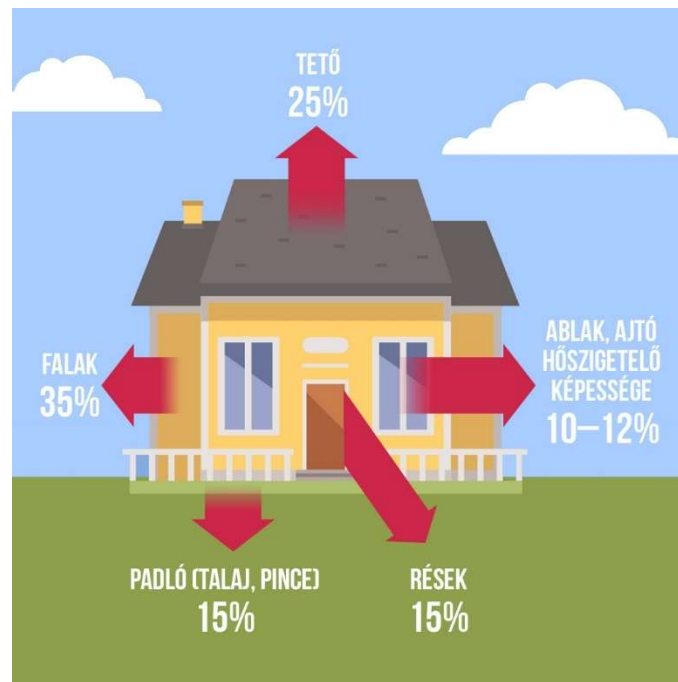
- „Nemzeti épületenergetikai cselekvési terv összeállítása: a NÉeS célkitűzéseinek eléréséhez szükséges tevékenységek koordinálása.

- Új támogatási és finanszírozási konstrukciók kidolgozása a lakóépületek és a középületek energiahatékonysági projektjeihez: energia megtakarítások elérése épületfelújítási programok, projektek megvalósításával.
- Megújuló energia alapú energiaellátás (napkollektorok, biomassza, hőszivattyú) alkalmazásának elősegítése az épületek hőellátásában, hűtésében: fosszilis tüzelőanyag felhasználás csökkentése, energiainport-függőség csökkentése, ÜHG kibocsátás csökkentés.
- Az épületek megújuló energia alapú villamosenergia-ellátása napelemes alkalmazásokkal: fosszilis tüzelőanyag felhasználás csökkentése, energiainport-függőség csökkentése, ÜHG kibocsátás csökkentés.
- Az új épületekre és az épületek felújítására vonatkozó energetikai előírások felülvizsgálata: az új és meglévő épületek energiafelhasználásának alacsony szintre leszorítása.
- Az épületek elemeinek cseréjére vonatkozó előírások felülvizsgálata épületgépészeti berendezések és külső térelhatárolók esetén: Az épületelemek cseréje, átalakítás és karbantartás esetén az energetikailag korszerű megoldások alkalmazása.
- Az épületek energetikai minősítésének és a tanúsítási rendszer tapasztalatainak feldolgozása, a rendszer szükség szerinti továbbfejlesztése: energia megtakarítások elérése az épületek tanúsítási rendszerének felülvizsgálatával.
- Az állami és önkormányzati tulajdonban és kezelésben lévő épületek energiahatékonysági követelményrendszerének kidolgozása: az állami és önkormányzati tulajdonban és kezelésben lévő épületek energia felhasználásának mérséklése, ezáltal a központi és helyi önkormányzati költségvetés pozíciójának javítása.” [199]

Az épületek energiafelhasználást több tényező is befolyásolja, amelyeket figyelembe kell venni, ha környezetbarátabb és gazdaságosabb üzemeltetést szeretnénk elérni, amelyhez beavatkozásokra, legyen az gazdasági vagy emberi, van szükség. A legegyszerűbb ezek közül az elektromos áram, illetve a fűtési energia felhasználásának csökkentése. Például olyan helyiségekben, ahol nem tartózkodnak a világítást le kell kapcsolni, télen otthonunkban alacsonyabb hőfokot kell beállítani, és inkább felvenni egy pulóvert, mint magasabb hőmérsékleten pólóban és rövid nadrágban tartózkodni, de ugyanez érvényes a munkahelyekre is: munkaidő után csökkentett fűtési mód alkalmazása.

### III. 1. AZ ÉPÜLETEK HŐSZIGETELÉSÉNEK FONTOSSÁGA

Minden épületnek van hővesztesége, amelyet csökkenteni szükséges. A 81. ábra is jól mutatja, hogy a megfelelő hőszigetelés megválasztása nagyon fontos. A legtöbb hő a falakon, illetve a tetőn keresztül tud távozni, hiszen az épületre vetítve ezek teszik a legnagyobb részét. A jól megválasztott hőszigeteléssel (külső falakra, lábazatra, padlóra, födémre, tetőre) nem csak benn tudjuk tartani az épületben a meleget (télen), illetve a hideget (nyáron), hanem megelőzhető a magas kinti és benti hőmérsékletkülönbségből adódó páralecsapódás és az ez által kialakuló penészesedés is, emellett növeli a fal élettartamát is.

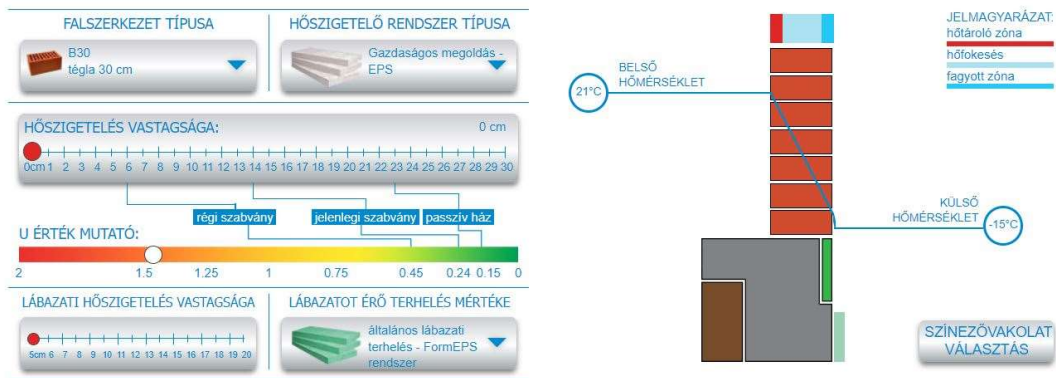


82. ábra Egy átlagos épület hőveszteségeinek eloszlása [200]

A külső hőszigetelésre két anyag terjedt el általánosságban: a kőzetgyapot és a hungarocell vagy másnéven polisztirol. Mindkét alapanyagban megvannak az előnyei és a hátrányai is. A hungarocell egy olcsóbb és így gyakrabban használt hőszigetelés, a kőzetgyapot viszont jobb páraáteresztő, illetve jobb hangszigetelő tulajdonságokkal rendelkezik, tűz esetén az utóbbi nem ég, míg a polisztirol önkioltóan.

A hőszigetelés egyik fontos paramétere a hőátbocsátási tényező, jele: U. Mértékegysége a  $W/m^2K$ , mely megmutatja, hogy egységnyi felületen egységnyi idő alatt mennyi energia távozik. Hőszigetelés szempontjából az a jó, ha ez az érték minél alacsonyabb, hiszen ez azt jelenti, hogy adott idő alatt kevesebb energia távozik egységnyi felületen keresztül.





83. a ábra B30-as téglából falazat, hőszigetelés nélkül [201]



83. b ábra B30-as téglából falazat, 8 cm vastag hőszigeteléssel [201]

A 83. a és b ábrán szereplő két példa a Cemix vállalat hőszigetelés számító kalkulátorából származik. Mindkét esetben a külső határoló szerkezet B30-as jelű téglából készült. Az „a” ábrán hőszigetelés nélküli állapot jelenik meg, míg a „b” ábrán a fal 8 cm vastag polisztirol hőszigeteléssel lett ellátva. Az első esetben a hőátbocsátási tényező  $1,46 \text{ W/m}^2\text{K}$ , míg a második esetben  $0,36 \text{ W/m}^2\text{K}$  a teljes határoló szerkezetre vonatkoztatva. Jól látható, hogy az úgynevezett fagyott zóna a hőszigetelés miatt kitolódott a fal keresztmetszetéből a hőszigetelésre, a hőtároló zóna térfogata megnövekedett, a hőfokelés pedig csökkent, tehát az épület hővesztesége csökkent.

A hő nem csak a külső falakon „szökhet el”, hanem a nyílászárókon keresztül, illetve mellettük, a kialakult résekben is. Az utóbbiak ellen különböző tömítőanyagokkal lehet védekezni, betömve azokat. A környezetbe áramló hőt pedig megfelelő üvegezéssel lehet az épületen belül tartani. Léteznek olyan ablakok, amelyek úgynevezett thermo üveggel vannak felszerelve, amelyek fém-oxid bevonatuknak köszönhetően az épület belsejéből érkező hőt visszatükrözik a helyiség fele. Ezek esetében csak úgy, mint a falaknál is megjelenik a hőátbocsátási tényező. Ezt az értéket a szárnyban, illetve a tokban létrehozott légkamrák számának növelésével és a többrétegű üvegezéssel csökkenthető (84. ábra).



84. ábra Hat légkamrás ablak tokprofil és öt légkamrás ablak szárnyprofil [202]

A KEHOP-5.2.2-16-2016-00001 számú Honvédelmi Minisztérium épületeinek energetikai fejlesztése című projekt keretein belül hat érintett intézményben kezdődtek el 2020. szeptemberében felújítások: HM II. objektum (Budapest), Ittebei Kiss József Hadnagy Helikopter Bázis (Szolnok), Nagysándor József laktanya (Székesfehérvár), Szentgyörgyi Dezső Repülőbázis (Kecskemét), Zrínyi Miklós laktanya (85. ábra) (Hódmezővásárhely), Táncsics Mihály laktanya (Kaposvár). Az épületekről általánosságban elmondható, hogy az előző évszázad második felében épültek, energiafelhasználásuk a régi nyílászárók, hőszigetelés nélküli falaknak, illetve mára elavulttá vált, nem megfelelően szabályozható fűtési rendszerüknek köszönhetően igen magas. A projekt fő célja az előbb említett korszerűtlenségek felújítása, hogy gazdaságosabb és fenntarthatóbb legyen az üzemeltetésük, így a külső falakat, zárófödémeket hőszigeteléssel látták el, a fűtési rendszereket korszerűsítették, napkollektort helyeztek el, modern nyílászárókat építettek be. A teljes projekt tervezett zárásának időpontja 2023. novemberre. [203]



85. a, b ábra Zrínyi Miklós laktanya egyik épület felújítás előtt és után [203]

### III. 2. FÉNYFORRÁSOK KORSZERŰSÍTÉSE

Repülőtereken a fényforrások elhelyezkedését két nagy területre lehet bontani: egyik hely, ahol megtalálhatók a futó-, illetve a gurulópályán, a másik a kiszolgáló épületek, mint például a terminál vagy a hangár. A jelenlegi technológiák jelenlétében korszerű világító testek felszerelésével az előírt megvilágítási értékek mellett kevesebb lesz az elektromos áramfogyasztás, így a felhasználással csökken a levegőbe kerülő szén-dioxid is, ami a környezetvédelem területén is előrelépést eredményez, továbbá az üzemeltetési költségek is alacsonyabbak lesznek.

Az Európai Unióban több rendelet is született (pl. 244/2009/EK, 2015/1428) a fényforrások alkalmazásával kapcsolatban. A jogalkotók arra törekednek, hogy a régi, elavultnak számító, nagy áramfelhasználású izzókat kivezessék az alkalmazási rendszerből, amellyel energiát lehet spórolni és a környezet védeni. Környezetbarát tervezési követelményeket fogalmaznak meg, amelyeket az előbb említett fényforrások nem tudnak kielégíteni, így nem hozhatók forgalomba. Eddig 6 szakaszban történt az elvárások teljesítése: 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2018. szeptember 1-jétől, vagyis minden évben más-más teljesítményű izzó tűnt el végleg a piacról: nem gyártanak 2009-től a 100 W-os, 2013-tól a 25 W-os, 2018-tól halogén izzókat. [204][205][206]

A fényforrások egyik csoportosítási módszere a fizikai alapelven történő működésük szerinti. Ez alapján három nagy csoportba sorolhatóak: hőmérsékleti sugárzók (izzólámpák), kisüléssel fényforrások, és a legújabb, a félvezető alapú fényforrások. Ez utóbbihoz tartozik a LED<sup>33</sup>. Rövid felfutási idővel rendelkezik, amely azt jelenti, hogy 6 másodperccel a bekapcsolása után 95%-át sugározza a teljes fényáramnak. Nagy megbízhatóság és hosszú élettartam jellemzi, átlagosan 40-50.000 órát is képes működni, szemben a normál izzólámpa 1000 vagy az energiatakarékosnak nevezett kompakt fénycső 6-15000 órájával, továbbá alkalmazásával 90%-kal kevesebb az energiafogyasztása. Az általa biztosított fényáramot növelni lehet, ha több LED-et összekapcsolva világítóegységet hozunk létre. [205]

Repülőterek esetében nem csak a különböző kiszolgáló épület világítását kell figyelembe venni, hanem a futó-, gurulópályák és leszállóhelyekét is. E helyek fényforrásai nagy teljesítményűek, így a fogyasztásuk is jelentős. LED-ekre történő cseréjüknel figyelembe kell venni az üzem-, illetve a repülésbiztonságot is.

---

<sup>33</sup> Light Emitted Diode – fényemittáló dióda

Több gyártónál is megvásárolhatók ilyen fényforrások, melyekkel teljes mértékben biztosítható a repülőgépek földi útvonalai (86. ábra), mint például:

- szegélyfény (gurulóút, futópálya);
- középvonalfény (gurulóút);
- várópontot jelző fény (futópálya védő fény).



86. ábra IR861T szegélyfény és ZA280D középvonalfény<sup>34</sup> [207]

Katonai repülőterekre akár állandó, akár ideiglenes telepítésű, is léteznek LED-es fényforrások. A Flash Technology vállalat olyan világítási rendszereket kínál, amelyek akár napelemmel is működőképesek, így bárhova telepíthetők, illetve újratelepíthetőek (86. ábra). A prémium kivitelű fényforrások üzemideje meghaladja a 100000 órát, hozzájuk kapcsolódó akkumulátoroké pedig az 5-10 évet. Előnyük, hogy viszontagságos környezeti körülmények között is, akár kilométerekről is vezérelhetők ezek a rendszerek vezeték nélküli kapcsolattal, katonai titkosítással védve, továbbá infravörös tartományban is képesek sugározni, segítve ezzel műveleti körülmények között a fel- és leszállást. [208]

---

<sup>34</sup> Mindkét LED-s fényforrás a NATO által elfogadásra került.



87. ábra A704 jelű futópálya szegélyfény katonai alkalmazásra [209]



88. ábra Mobil repülőtéri világítási rendszer hordozó trélere [210]

A 88. ábrán látható hordozó tréler képes 112 darab világítótest tárolására, illetve ezek töltésére is akár napelemmel, akár integrált váltakozó áramú rendszerrel. Gyors telepítést tesz lehetővé, vontatható és légi úton is szállítható. [210]

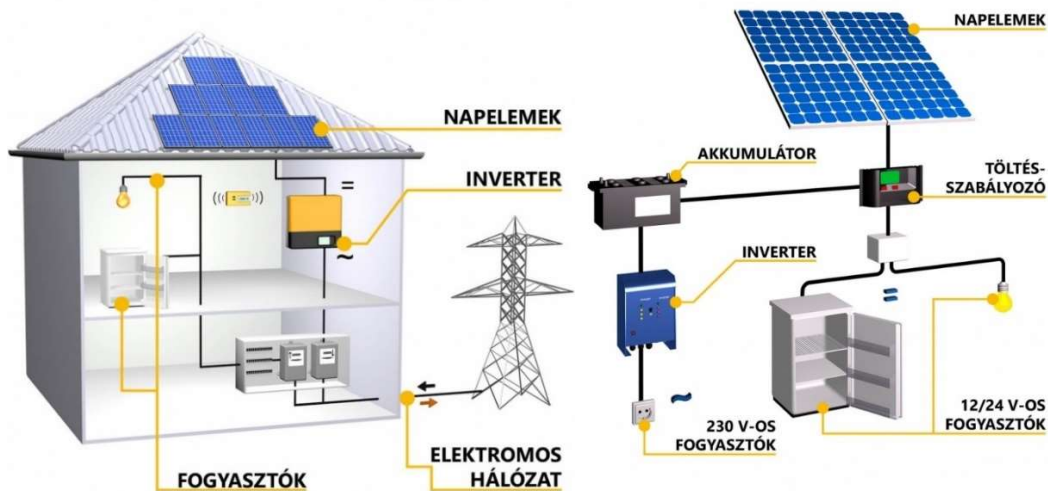
### III. 3. ÉPÜLETGÉPÉSZETI ÉS ELEKTROMOS KORSZERŰSÍTÉSI LEHETŐSÉGEK A REPÜLŐTEREKEN

A repülőterek épületeinek gazdaságos és környezetbarát üzemeltetésében fontos szerepe van az épületgépészetnek. A korszerűtlen fűtőtestek, klíma berendezések, szabályozások használata megnöveli a rezsiköltségeket.

A kiinduló pont az energia előállítása. Ahhoz, hogy ez környezetbarát legyen megújuló energiaforrásokat szükséges használni, mint például a nap sugárzása, a föld hője, amelyek

Magyarországon érdemben elérhetőek. A napenergiát kétféleképpen is be lehet juttatni a rendszerekbe: napelemek (elektromos áram), illetve napkollektorok (melegvíz) útján.

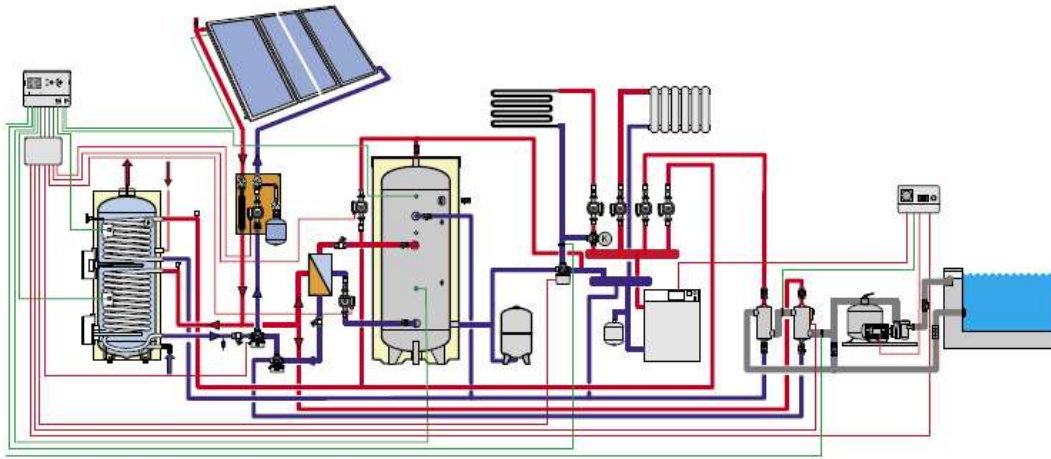
A napelemes rendszereknek három típusa van: a szigetüzemű, a hálózatra visszatápláló (89. ábra), illetve a kettő kombinációja a hibrid rendszer.



89. ábra Hálózatra tápláló és szigetüzemű napelemes rendszer [211]

A hálózatra visszatápláló rendszer a legerjedtebb és a legegyszerűbb felépítésű. A megtermelt elektromos áramot az épületben lévő fogyasztók felhasználják, a többletet pedig a villamos hálózatba visszatáplálja. A szigetüzemű kivitel bárhova telepíthető, ahol megfelelőek az optimális működéséhez szükséges feltételek. Főként olyan helyeken alkalmazzák, ahol nem érhető el villamos hálózat vagy nagyon magas lenne a csatlakozási költség. Hátránya az előző típushoz képest, hogy drágább a telepítése, mert olyan elemet is szükséges a rendszerben használni (pl. generátort), amely akkor lép működésbe, mikor a napelem nem tud működni vagy kevesebb elektromos áramot állít elő, mint amire szükség van. [211]

A napkollektor (90. ábra), csak úgy, mint a napelem, a Nap sugárzását használja fel forrásként, de ez előzővel ellentétben nem elektromos áramot, hanem hőenergiát állít elő, melyet az épületekben fűtés rásegítésre, melegvíz előállításra, illetve épületeken kívül medence fűtésre használnak fel. Ennek a rendszernek a segítségével kevesebb elektromos áram (melegvíz előállítás) és/vagy földgáz (fűtés ellátás) fogyasztás érhető el. Jelenlegi technológiák mellett, csak önmagában nem tudja teljesen kiszolgálni a használati melegvíz, illetve fűtési igényeket, viszont ezekre a rendszerekre rá tud segíteni tehermentesíteni tudja azokat.



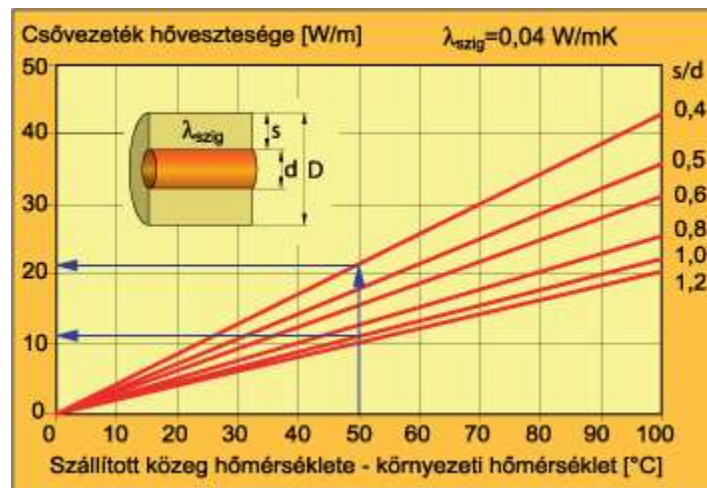
90. ábra Napkollektoros kapcsolási vázlat melegvíz termelésre, fűtés rásegítésre és medence vizének fűtésére [212]

Hőtermelésre nem csak a napenergia fogható be. A biomassza kazánok, melyek egy létesítmény fűtés- és/vagy használati melegvíz ellátását biztosítják, biotüzelőanyaggal működnek. Alapanyaga lehet erdőgazdálkodási (fa, faapríték, faforgács) és mezőgazdasági hulladék (szalma, kukoricaszár), amelyeket darabokban vagy pelletté átalakítva adagolnak a hőtermelő berendezésbe. Ezek elégetésekor kerülnek a környezetbe károsanyagok, köztük szén-dioxid is, de csak annyi, amennyit növekedése során eltárolt a növény. Különböző nagyságú teljesítményben gyártják, így minden felmerülő igényt ki tudnak elégíteni.

A stockholmi Arlanda Repülőtér utasforgalmi és kiszolgáló épületeit távfűtéses rendszer szolgálja ki. Ez a rendszer a hőt olyan kazánokkal állítja elő, amelyek biotüzelőanyaggal működnek. Régóta tervezi a repülőtér üzemeltető vállalat a Swedavia AB, hogy leválnának erről a rendszerről, és saját biomassza hőerőművet telepítenének a légikikötő kiszolgálására. Ennek megvalósítására a KPA Unicon Oy szállítja a berendezéseket, melyek összteljesítménye 30 MW lesz. A fő tüzelőanyag bioolaj lesz, de a későbbiekben tervezik, hogy fapelletet is fel fognak használni a hő előállítására. [213]

Az eddigiekben olyan megújuló energiaforrás hasznosító rendszereket mutattam be, amelyek elektromos áramot tudnak termelni, fűtési, illetve melegvíz ellátási hálózatra segítenek rá. A hőszivattyú viszont képes a rácsatlakoztatott épületen belül nem csak fűteni, hanem hűteni is. Ehhez a környezetében – levegőben, talajban, vízben - tárolt energiát használja fel úgy, hogy az egyik oldalról kivont, kiszivattyúzott hőt a másik oldalra szállítja, mint egy hűtőgép, azzal a különbséggel, hogy ez a folyamat kétirányú lehet, így tud hűteni és fűteni is. Előnye a többi megújuló energiaforrással működő rendszerhez képest, hogy önmagában képes ellátni egy épület fűtését és hűtését.

Az energia ellátó berendezéseket a hőleadókkal vagy hűtőtestekkel csővezetékek kötik össze. Ezek alapanyaga az évek során megváltozott főképp a könnyebb szerelhetőség irányába. Ezeknél a rendszerelemeknél nagyon fontos, hogy hőszigeteléssel legyenek ellátva, így csökkenthető rajtuk a hővesztés és ezzel együtt az üzemeltetés költsége is. Az anyagukat, illetve vastagságukat körültekintően kell kiválasztani, különben a cső „izzadni” kezdhet, ezáltal a hőszigetelés tönkre mehet, valamint nem megfelelő vastagság esetén kevesebb hő jut el a hőleadókhoz, ahogy a 90. ábra is mutatja.



91. ábra Napkollektoros csővezeték hővesztése a hőszigetelés vastagságának függvényében [214]

Fűtőkorszerűsítés esetén, ahogy a pályázatokban ehhez kapcsolódóan is kiírják, a régi öntöttvas radiátorokat lecserélik modern lapradiátorokra, amelyek hőleadása nagyobb, könnyebben szerelhetők és tisztíthatók. Ezenkívül termosztatikus szeleptestekkel, termosztatikus szelepfekkel is ellátják azokat a gazdaságosabb üzemeltetés eléréseért.



## IV. ELEMZÉSEK, SZÁMÍTÁSOK

### IV. 1. GAZDASÁGOSSÁGI LEHETŐSÉGEK ELEMZÉSE

A katonai repülőtereknél csak úgy, mint a polgári légitársaságokban a kiszolgáló épületek fenntartása igen költséges, a rezsí, a közmű díjak folyamatosan növekszenek. Ennek kiküszöbölésére, illetve a környezetbarát(abb) működés elősegítésére az épületgépészeti és elektromos rendszerekbe megújuló energiaforrásokat vonnak be.

A 11. táblázat egy a Magyar Honvédség által üzemeltetett katonai repülőter, - nevezzük 'Alfa'-nak - 2018. évi éves közüzemi díjait tartalmazza.

Közüzem típusa	Éves közüzemi díj
villamos energia	120 000 000 Ft
gáz energia	80 000 000 Ft
víz-csatorna szolgáltatás	16 000 000 Ft
kéményseprés	800 000 Ft
szemétszállítás	8 000 000 Ft
energia adó	1 200 000 Ft
vízterhelési díj	500 000 Ft
<b>Összesen:</b>	<b>226 500 000 Ft</b>

11. táblázat Alfa katonai repülőter 2018. évi éves közüzemi díjai

A villamos energiát az elektromos berendezések mellett a világítástechnika (beltéren, kültéren) is használja, így a 120 000 000 Ft-ot egynegyed-háromnegyed arányban osztom fel, mert a világítótestek nem üzemelnek a teljes munkaidőben. A ráeső rész: 30 000 000 Ft. Ha ezek közül mindet LED-re cseréljük, akkor a fogyasztásuk 90%-kal fog csökkenni [147], ami természetesen maga után vonja, hogy kevesebbet kell fizetni az áramszolgáltatónak. Ez az érték így az összeg tizede lesz, 3 000 000 Ft, viszont a fennmaradó részből be kell fektetni az új izzók vásárlásába, amely nem kevés, de az első egy, maximum két évben megtérül. Példaként egy 15 kW-os hagyományos villanykörte 4 kW-os LED-re cserélésénél ez 6 hónap<sup>35</sup>.

Az elektromos áram ha a megújuló energiaforrásokat vesszük alapul, akkor napelemes rendszerrel állítható elő legegyszerűbben. Több cégnek és szolgáltató leányvállalatának a honlapjukon lévő kalkulátorokat néztem meg, illetve próbáltam ki. Ekkora rendszerre és teljes kiváltására vonatkozó számításokat csak külön árajánlat kérés esetén lehet elérni, amelyet én elvettem, hiszen a korrekt ár kiszámításához nem rendelkezem pontos adatokkal, mint például

<sup>35</sup> forrás: <https://www.lampak.hu/ujdontagok-reszletek-megtakaritas-kiszamitasa-a-led-es-energiatakarekos-izzokkal/>

a katonai repülőtér elhelyezkedése, a napelemek lehetséges telepítésének helye (háztetőre, talajra) és ezek tájolásának lehetőségei.

Választásom az MVM Optimum Zrt. kalkulátorra esett, mert üzleti (nem lakossági) ügyfelek és nagyobb rendszerek esetén is használható. A honlapjukon található kis programmal maximum 60 977 kWh-t lehet kiváltani. Bemenő paramétereknek az alábbiakat adtam meg:

- ajánlat: üzleti partnernek;
- telepítés helyszíne: Közép-Magyarország;
- telepítés típusa: talajra;
- tájolás: dél.

Ezekhez az értékekhez a 92. ábrán látható ajánlatot adta.

The image shows a dark-themed card with a teal header labeled 'RÉSZLETEK'. It displays environmental benefits: 22.866 kg CO<sub>2</sub> reduction and 1039 kg CO<sub>2</sub> capture. It also shows a solar icon and 60.977 kWh annual production. The equipment list includes 128 units of 'Napelem Astro 4 Semi 380 Wp' (12-year warranty, 25-year performance warranty) and 1 unit of 'Inverter Huawei' (10-year warranty). The total price is 17,057,778 Ft + VAT for a 48.6 kWp system. A yellow button at the bottom right says 'ÉRDEKELNEK A RÉSZLETEK'.

92. ábra MVM Optimum Zrt. napelemes rendszerre adott ajánlata [215]

Jól látható az ajánlatból (92. ábra), hogy a teljes elektromos rendszernek, fogyasztásnak csak a töredékét képes kiváltani, mégis 128 db napelemre van szükség. Az egész rendszer 21 663 378 Ft-ba kerülne, és ehhez még hozzá kell számolni a telepítés munkadíját is, amely vállalkozói kivitelezői áron nagyjából 8 000 000 Ft lenne. A kettő értéket összeadva 29 663 378 Ft lesz a végösszeg. Ha kiszámoljuk, hogy egy éve alatt ez a rendszer nagyjából 3 000 000 Ft-ot takarít meg, akkor ennek az egységnek a megtérülése 9 év.

Ahhoz, hogy a repülőtér egészét napenergiából származó villamos árammal láthassuk el, egy külön erre a célra telepített naperőművel lehetséges, amelyhez hozzá kell tenni azt is,

hogy nem tudja egész nap kiszolgálni az elektromos berendezéseket, illetve túltermelés is létrejöhet főként a nyári napokon.

A katonai repülőtér éves gázszámlájának az értéke 80 000 000 Ft. Feltételezésem szerint a kiszolgáló épületek fűtése gázkazánokkal történik. Itt meg kell említeni a használati melegvíz (HMV) ellátást is, amelyet vagy ezek a berendezések szolgálnak ki vagy pedig elektromos melegvíz tárolók épületenként, szintenként, vizesblokkonként. A régi, elavult gázkazánokat érdemes korszerűbb, kondenzációs készülékekre lecserélni egyfelől a kevesebb fogyasztásuk (hagyományos, turbós berendezésekhez képest 15-20%-kal), másfelől magas hatásfokuk (akár 109%)<sup>36</sup> miatt, így már kevesebb lenne a gázszámla. Azt viszont hozzá kell tenni, hogy ezek a megállapítások csak alacsony előremenő vízhőfok esetén, 38-40 °C-nál valósulnak meg, amely csak a padló-, a falfűtést, illetve a kisvízterű lapradiátorokat tudja kiszolgálni, de a régi, öntöttvas fűtőtesteket már nem. Ezzel a rendszerrel nagyjából 15 000 000 Ft-ot lehetne megtakarítani, de ehhez még hozzá kell venni a beruházás költségeit (kazán, csővezeték, fűtőtestek cseréje), amely az első évben felemésztené a megspórolt összeget.

Ha a földgázt szeretnénk kiváltani megújuló energiaforrásra, akkor a napsugárzás, a talaj, illetve a levegő hője jöhet szóba. A sorban az elsőt napkollektorokkal lehetne hasznosítani, amelyeknél a telepítés helyét, csakúgy, mint a napelemeknél gondosan meg kell választani. Ugyanakkor ekkora rendszernél a teljes kiváltás nem praktikus a napsugárzás napi, évszakonkénti változása miatt, illetve gazdaságosság szempontjából sem érné meg, legfeljebb fűtés és/vagy HMV rásegítésre. A talajszondás rendszer telepítése igen költséges, és hosszabb kivitelezési idővel kell számolni, ráadásul glikollal való feltöltése is igen drága. Ehhez hozzá kell tenni, hogy a szondákat megfelelő távolságra szükséges elhelyezni, nehogy egymás ellen dolgozzanak, egymástól „szívják el” a hőt, így elhelyezésüknél nagy területre, illetve nagy mennyiségű talajszondákat és a hőközpontot összekötő csővezeték pár van a szükség, ha nem kertesházi méretű rendszerről beszélünk.

A hőszivattyúknak van egy elterjedtebb változata is, amely a környezeti levegő hőjét hasznosítja, és a fűtési rendszerben keringő víznek adja át télen, egészen -28 °C-ig, illetve átmeneti időszakokban. Működése gazdaságos, hiszen 1 kW elektromos áramból 4-5 kW fűtési energiát állít elő. További előnyei, hogy hűteni is lehet vele és használati melegvizet is elő tud állítani, valamint kombinálható napelemekkel. Kültéri telepítéséhez figyelembe kell venni a helyi adottságokat, hiszen zajosabb, mint egy gázkazán, továbbá szükséges beépíteni a

---

<sup>36</sup> A kondenzációs gázkazánoknál a földgáz elégetése során az égéstermékek között megjelenik a vízgőz, amely hőtartalmát ez a típusú készülék hasznosítani tudja, és így tud 100%-nál magasabb hatásfokot produkálni.

működéshez és annak biztonságát szavatoló egyéb berendezéseket (pl. puffertároló, keringtető szivattyú stb.).

A példánkban szereplő katonai repülőtér víz-csatorna szolgáltatásért évi 16 000 000 Ft-ot fizet. Ez nagyjából 18 000 m<sup>3</sup> fogyasztásnak felel meg. Több lehetőség is adódik arra, hogy ezt a mennyiséget csökkenteni lehessen. Elsőként a fogyasztási szokásokon érdemes változtatni: feleslegesen ne folyjon a víz, illetve a csöpögő csapot javítsuk meg, cseréljük ki! Ha megoldható, akkor kézi mosogatás helyett mosogatógépeket szükséges használni. Víztakarékos csaptelepek felszerelésével és alkalmazásával a percenkénti 12 liter kifolyó vízmennyiség a felére csökkenthető<sup>37</sup>. Ennek eléréséhez áramlásszabályozó betétet és olyan perlátort (vízsugár szabályzó) építenek be, amely levegőt szív be, majd a vízzel keveredik, dúsítja azt, az előbbi miatt pedig kevesebb fog belőle kifolyni, de emellett az ember ezt nem veszi észre, komfortérzete nem csökken. Ugyanez érvényes a zuhanyfejekre is, amelyek normál állapotban 13-22 litert engednek át percenként, de víztakarékos kivitelben ez a mennyiség 7-8 literre redukálódik le.

Mosogatáskor vagy zuhanyzáskor szükség van használati melegvízre is. A régebbi rendszereknél hosszabb ideig kellett a csapolót nyitva tartani, hogy megérkezzen a megfelelő hőmérsékletű víz, így elég sok víz veszett kárba. Ennek ellensúlyozására a korszerűbb rendszerekben megjelenik az úgynevezett cirkulációs csővezeték (adott hőmérsékletű víz folyamatosan kering benne), amelyet a HMV termelőtől a „felfűzött lánc” legutolsó csaptelepéig építenek ki leágazásokkal a vízvételi helyeknél. Így előbb érkezik meg a komfortérzetnek megfelelő víz. Természetesen ha egy régi rendszert szeretnénk így átalakítani, akkor nagyobb beruházásra van szükség, hiszen a falon belül kell elvezetni a csővezetékét, amely bontással és visszajavítással jár, emellett költsége van a beépítendő szerelvényeknek, szivattyúnak, illetve a vezetéknek is.

Ha kevesebb vízfogyasztásról beszélünk, nem szabad elfelejteni a WC-eket sem. Léteznek olyan rendszerek, amelyek nem ivóvizet használnak ennek öblítésére, hanem úgynevezett szürke vizet, amely legtöbb esetben szűrt esővíz. Természetesen ez nem áll mindenhol rendelkezésre, ezért kétállású víztakarékos tartályt építenek be. Előnye, hogy szükség szerint kisebb (kb. 3 liter) vagy nagyobb (kb. 7 liter) vízzel is tud öblíteni.

Mivel nem ismert, hogy az éves 18 000 m<sup>3</sup>-nyi fogyasztásban részt vesznek-e víztakarékos szerelvények, illetve a felhasználási mód hogyan oszlik meg, ezért tételezzük fel,

---

<sup>37</sup> forrás: <https://vizszamla.hu/viztakarekos-csap/>

hogy ezek bevezetve a rendszerbe egyharmaddal csökkenthető az elfogyasztott víz mennyisége, így egy évre vonatkozóan nagyjából 5 000 000 Ft-ot lehet spórolni.

A repülőterek üzemeltetési költségeibe beletartoznak a repülőgépek mozgásához szükséges toló-vontató járművek üzemanyag felhasználása is. Jelen példánál egy évben ez a mennyiség 700 liter vagy ~280 000 Ft, ha a gázolaj 2018-as átlagárán számolunk. Maga az összeg nem tűnik soknak a többi költséghez viszonyítva, de környezetvédelmi és modernizációs szempontból praktikusabb lenne kiváltani.

Az értekezésem II. 2. fejezetében (Légijárművek repülőtéren történő mozgása) bemutattam négy alternatívát ennek a problémának a megoldására. Az Alfa katonai repülőtérenél véleményem szerint a:

- TaxiBot megfelelő lenne, de helikoptereknél nem alkalmazható;
- az EGTS és a WheelTug nem lenne megfelelő, mert a repülőgépek fő-, illetve orrfutóműveire kellene őket felszerelni, de a flottában vannak lízingelt gépek is, és nem valószínű, hogy a gyártó engedélyezné ezeket a változatokat;
- Mototok megfelelő lenne, azzal a kitételrel, hogy csak hangár beálláshoz alkalmazható az alacsony maximális sebesség határa miatt.

A Mototoknak meg van az az előnye a többi lehetséges megoldással szemben, hogy kisméretű, alkalmazásával nem növeli a légijármű felszálló tömegét, gyorsan tud csatlakozni/leválni az orrfutóműre/-ről, elektromos meghajtású, így hálózatról tölthető (de akár erre a célra napelem is telepíthető). Az M 528-as változat a legnagyobb terhelhetőséggel rendelkezik, akár 28 t-t is el tud vontatni, de a fő előnye, hogy merev- és forgószárnyas repülőgépekhez is használható, amely megfelelő lenne az Alfa katonai repülőtéren. 10 másodperc alatt tud csatlakozni a vontatandó légijárműhöz, a motor teljesítménye 1,3 kW. Ezt 4 db 115 Ah-s akkumulátor szolgálja ki, egyszeri feltöltésük nagyjából 3-400 Ft-ból megoldható. A műszaki leírásban két napot határoznak meg üzemidőnek használatától függően. 5,22 km/h-s sebességre képes betonon, aszfalton vagy kövön, viszont ez az érték kevés a futópálya és az indítóhely közötti távolságok megtételére, de a hangárba be-, illetve onnan kiállásra jó megoldás. Ennek áthidalására viszont megfelelő lenne a Taxibot. Segítségével a taxizás ideje alatt 85%-kal kevesebb tüzelőanyagot használ fel a repülőgép, amely maga után vonja, hogy kevesebb károsanyag kerül a környezetbe, a zajterhelés is csökken, továbbá jóval kisebb az esélye, hogy idegen tárgyat szívjon be a hajtómű, így elkerülve annak károsodását [216].

A Mototok ára típustól függően 61 000 és 79 000 US dollár között mozog, átszámolva nagyjából 21 és 27 millió forint között van, amely természetesen nem olcsó, ellenben megbízható kategória. Továbbá ha feltételezzük, hogy az év minden egyes napján használatban vannak (teljességgel szélsőséges eset), akkor is körülbelül 100 000 Ft lenne az áramfelhasználás költsége, amely feleannyi összeg, mint amit a repülőtér gázolajra költ a repülőgépek mozgatásához.

Az Alfa katonai repülőtér a 2018-as évben 1 300 000 Ft-ot költött JET A-1 tüzelőanyagra. Ennek az átlagára 2018-ban 0,59 US dollár volt literenként, míg az SAF-é 1,8 US dollár. Ez utóbbi érték az összes fajtának az átlagolt díja. Az előbbiből számolt fogyasztás nagyjából 6500 l. Ha kiszámoljuk, hogy ez a mennyiség fenntartható tüzelőanyagból lett volna megvásárolva, akkor az eredeti összeghez képest jóval magasabb értéket kapunk, közel 4 000 000 Ft-ot. Az SAF egyelőre jóval drágább a hagyományos üzemanyagokhoz képest, de nem is az olcsósága miatt választják a repülőgép üzemeltetőket, hanem általa kiküszöbölhető a kerozin árának ingadozása, környezetbarátabb megoldás, ráadásul ha hulladékokból készítik, még a környezetet is tehermentesítik vele.

## **IV. 2. KARBONLÁBNYOM SZÁMÍTÁS**

Az elvégzett gazdaságossági elemzések felhasználhatóak a továbbiakban karbonlábnyom meghatározásához, amely segítségével kiszámolható egy adott vállalat, repülőtér, de akár a saját életmódunk, tevékenységeink során a szén-dioxid kibocsátásunk. Ehhez figyelembe kell venni az összes üvegházhatású gázt (ÜHG), amely közvetlenül vagy közvetve kerül a környezetbe. Mértékegysége a szén-dioxid egyenérték, jele: eCO<sub>2</sub>. Ennek segítségével összehasonlíthatóak az ÜHG-ok egy egység CO<sub>2</sub>-vel. A kyoto-i egyezményben erre hat különböző gázt (leggyakoribbak) jelöltek meg: szén-dioxid, metán, dinitrogén-oxid, fluorozott szénhidrogének, perfluor-karbonok, kén-hexafluorid. [217]

Az 1990-es évek végén felmerült két szervezetben (Világ Erőforrás Intézete – World Resources Institute (WRI), Világ Üzleti Tanácsa a Fenntartható Fejlődésért – World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)) is, hogy szükség lenne szabványosítani nemzetközi szinten az üvegházhatású gázok kibocsátásának elszámolását és jelentését. Több nagy vállalattal (BP, Shell, Norsk, Tokyo Electric), illetve környezetvédelmi csoportokkal (WWF - World Wide Fund for Nature, The Energy Research Institute) összefogva kidolgozták az ÜHG-ok elszámolásának szabványosított módszereit. Így jött létre 2001-ben a GHG Protocol, amelyet azóta is folyamatosan frissítenek, útmutatásokkal látnak el, hogy segítsék a

vállalkozásoknak meghatározni a saját emissziójukat vagy az általuk előállított termékek életciklusának nyomonkövetését. Ehhez a GHG Protocol fejleszti az előírásokat, az eszközöket, továbbá az online képzéseket, így támogatva a cégeket, országokat, városokat, hogy nyomon tudják követni, majd pedig csökkenteni a saját kibocsátásukat. [218]

Az emissziókat különböző csoportokba (Scope) lehet sorolni, attól függően, hogy az életciklus során hol keletkezik üvegházhatású gáz. A Scope 1-be a közvetlen kibocsátások sorolhatóak, mint például a gépjárművek üzemanyagának felhasználása, vagy a földgáz elégetése kazánban fűtés céljára. A Scope 2-be és 3-ba a közvetett kibocsátások tartoznak, amelyek közvetlenül nem ellenőrizhetőek. A különbség kettőjük között, hogy az előbbi kategóriába olyan emissziók sorolandóak, amelyekért az adott vállalat, ország, város stb. felelős (pl. elektromos áram alkalmazása), míg az utóbbiba azok, amelyeket nem lehet ellenőrzés alatt tartani (pl. cég dolgozói milyen közlekedési formát választanak, hogy eljussanak munkahelyükre, vagy mennyit vizet fogyasztanak). Szervezeti karbonlábnyom meghatározásakor a GHG Protocol kötelezően előírja a Scope 1 és 2 csoportokba a fogyasztások megjelenítését. [217]

Az Alfa katonai repülőtér karbonlábnyomának meghatározásához, majd a gazdaságossági elemzésekben kifejtett csökkentési lehetőségeket alkalmazva az adatokat egy Greenhouse Gas Emissions Calculator-ba vezettem fel. Ebből több fajta is létezik különböző oldalakon az interneten. A választásom az ENSZ honlapján található excel táblázatra esett, mert nagyon részletesen, minden tevékenységre kiterjedően figyelembe veszi a kibocsátást, ingyenesen felhasználható bárki számára és naprakész kiadás (2022. szeptemberében tették nyilvánossá). Az első két munkalapon közzéteszik, hogy az adatok, információk tájékoztató jellegűek, tehát karbonlábnyom tanúsításra nem alkalmas, továbbá felsorolja a kibocsátási tényezők forrását, mely szabványt, előírást vették alapul a meghatározásukhoz. [219]

Első lépésként a 11. táblázatban és a gazdaságossági elemzésben szereplő adatokat felvezettem a kalkulátorba, amely az alábbi értékeket (12. táblázat) adta ki az összefoglaló munkalapján. Ebben nem szerepel a repülőtér teljes kibocsátása, mert nincs adatom arra vonatkozóan, hogy egyes épületekbe telepítettek-e split klímákat, ha igen mennyi darabot, illetve az alkalmazottak milyen közlekedési eszközzel jutnak el munkahelyükre, és a hazautazáshoz mit vesznek igénybe.

A 12. táblázatból jól látható, hogy a katonai repülőtér üvegházhatású gáz kibocsátásának nagy része a Scope 1-es csoportba esik, azon belül is a mérleg nyelve a különböző

tüzelőanyagok felé billen, amely a teljes emisszió 90%-káért felelős. Ebbe a kategóriába került a földgáz felhasználás a fűtési rendszert kiszolgálva, továbbá a repülőgépek működéséhez szükség kerozin, repülőbenzin alkalmazása. A Scope 2-ben található elektromos áram ÜHG kibocsátása is elég magasnak bizonyult, évi 416,88 t CO<sub>2</sub>e az értéke. A Scope 3-as kategóriába került a villamos áram fogyasztáshoz köthető hálózati veszteségek, illetve a vízfogyasztás. Ezek az összemisszió alig 1%-át teszik ki.

Kategóriák		Kibocsátás forrásának kategóriái	t CO <sub>2</sub> e	
GHG Protocol szabvány: Vállalati - Scope 1 and 2, Értéklánc - Scope 3	Scope 1	Saját vagy ellenőrzött helyhez kötött források közvetlen kibocsátása, amelyek fosszilis tüa. használnak és/vagy diffúz kibocsátásuk <sup>38</sup> van	Tüzelőanyagok	4 330,68
			Bioenergia	-
			Hűtőközegek	-
		Közvetlen kibocsátás saját vagy ellenőrzött mobil forrásokból	Személyszállító járművek	-
			Szállító járművek	3,23
	<b>Teljes Scope 1</b>			<b>4 333,90</b>
	Scope 2	Mevásárolt elektromos áram, távhő, -hűtés és gőz helyhez kötött kibocsátása	Elektromos áram	416,88
			Hő és gőz	-
			Elektromos áram el. meghaj. járműveknek	-
			Távhűtés	-
	<b>Teljes Scope 2</b>			<b>416,88</b>
	Scope 3	Üzemanyaggal és energiával kapcsolatos tevékenységek	Minden egyéb üzemanyaggal és energiával kapcsolatos tevékenység	-
			Átviteli és elosztási veszteségek <sup>39</sup>	41,00
		Üzemeltetés közben keletkező hulladék	Szennyvíz	-
			Szemét	-
		Vásárolt áruk	Vízellátás	2,81
			Felhasznált anyagok	-
Üzleti utazás	Légiközlekedés	-		

<sup>38</sup> „VOC (Volatile Organic Compound – illékony szerves vegyületek) diffúz kibocsátás: bármely illékony szerves vegyület vagy termékben lévő szerves oldószer nem VOC véggáz kibocsátás formájában történő kibocsátása a levegőbe, a talajba és a vízbe.” (pl. szénhidrogének, benzol, formaldehid, szén-monoxid stb.) forrás: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1400026.vm>

<sup>39</sup> Hálózati veszteségekkel kapcsolatos kibocsátások (az az energiaveszteség, amely akkor keletkezik, amikor a villamos energiát az erőműből eljuttatják a szervezethez).



		Üzeleti utazással kapcsolatos szálláshelyektől származó kibocsátás	-
		Vízi közlekedés	-
		Földi közlekedés, tömegközlekedés bérelt/lízingelt, járművek, taxik	-
	Termék szállítás és elosztás	Árufuvarozás	-
	Alkalmazottak ingázása		-
	Étel fogyasztás		-
	Otthoni munkavégzés (home office)		-
	<b>Teljes Scope 3</b>		<b>43,81</b>
	<b>Teljes kibocsátás</b>		<b>4 794,59</b>

12. táblázat Alfa katonai repülőtér CO<sub>2</sub>e kibocsátása

A 13. táblázatban található emissziós értékek az alapadatokhoz képest csökkentett eredményekhez tartoznak. A változtatások az alábbi területekhez kapcsolódtak:

- tüzelőanyagok:
  - kerozin és repülőbenzin 50%-ának kiváltása SAF-re (a szabvány a fenntartható tüzelőanyagok fajtáitól függően legfeljebb fele-fele arányban engedélyezi a keverést a hagyományossal, továbbá a károsanyag emisszió 70%-kal kevesebb lesz);
  - földgáz ellátásba kondenzációs kazánok kerülnek beépítésre, így a fogyasztás 20%-kal csökken;
- elektromos áram:
  - a hagyományos fényforrások lecserélése LED izzókra, amely 90%-os spórolást jelent a világítás terén;
  - napelemes rendszerrel a fogyasztás felének kiváltása (1792 db napelem, melyek teljes felülete 3262 m<sup>2</sup>, ~ fél futball pályányi terület);
- vízellátás: víztakarékos csaptelepek alkalmazásával 30%-kal csökkenthető a felhasználás.

Amennyiben ezeket a fejlesztéseket bevezetik a katonai repülőtér üzemeltetésébe, akkor az eredeti, egy évre vonatkozó CO<sub>2</sub>e kibocsátás, amely 4794,59 t volt, 3819,17 t-ra redukálódik (13. táblázat), azaz nagyjából 980 t-val kevesebb ÜHG kerül a környezetbe.

Kategóriák		Kibocsátás forrásának kategóriái	t CO2e	
GHG Protocol szabvány: Vállalati - Scope 1 and 2, Értéklánc - Scope 3	Scope 1	Saját vagy ellenőrzött helyhez kötött források közvetlen kibocsátása, amelyek fosszilis tüa. használnak és/vagy diffúz kibocsátásuk van	Tüzelőanyagok	3 638,37
			Bioenergia	-
			Hűtőközegek	-
		Közvetlen kibocsátás saját vagy ellenőrzött mobil forrásokból	Személyszállító járművek	-
			Szállító járművek	3,23
	<b>Teljes Scope 1</b>			<b>3 641,6</b>
	Scope 2	Megvásárolt elektromos áram, távhő, -hűtés és gőz helyhez kötött kibocsátása	Elektromos áram	159,97
			Hő és gőz	-
			Elektromos áram el. meghaj. járműveknek	-
			Távhűtés	-
		<b>Teljes Scope 2</b>		
	Scope 3	Üzemanyaggal és energiával kapcsolatos tevékenységek	Minden egyéb üzemanyaggal és energiával kapcsolatos tevékenység	-
			Átviteli és elosztási veszteségek	15,73
		Üzemeltetés közben keletkező hulladék	Szennyvíz	-
			Szemét	-
		Vásárolt áruk	Vízellátás	1,87
			Felhasznált anyagok	-
		Üzleti utazás	Légiközlekedés	-
			Üzleti utazással kapcsolatos szálláshelyektől származó kibocsátás	-
			Vízi közlekedés	-
			Földi közlekedés, tömegközlekedés bérelt/lízingelt, járművek, taxik	-
		Termék szállítás és elosztás	Árufuvarozás	-
	Alkalmazottak ingázása		-	
	Étel fogyasztás		-	

	Otthoni munkavégzés (home office)	-
	<b>Teljes Scope 3</b>	<b>17,6</b>
	<b>Teljes kibocsátás</b>	<b>3 819,17</b>

13. táblázat Alfa katonai repülőtér csökkentett CO<sub>2</sub>e kibocsátása

A két táblázatot összevetve jól látszik, hogy ezen katonai repülőtér esetében a karbonlábnyom csökkentése érdekében a legfontosabb lépés a kerozin és a repülőbenzin 50%-ának a kiváltása lenne. Természetesen a többi területen is érdemes redukálni az ÜHG-ok kibocsátását mind környezetvédelmi, mind gazdasági szempontból.

Ha fajlagosítani szeretnénk a különböző tevékenységekből eredő károsanyag emissziót, akkor az alkalmazott táblázat ebben is a segítségünkre lehet, hiszen úgy van megszerkesztve, hogy tüzelő- vagy üzemanyag elégetéséhez, elektromos áram felhasználásához, vízfogyasztáshoz tényezőket rendel hozzá, amelyek egy egységre vannak vonatkoztatva. Például a kerozinhoz rendelt faktor 2,54514. E szerint 1 liter elégetésekor 2,54514 kg CO<sub>2</sub>e keletkezik. Ezt más energiaforrásokra, illetve közművekre is lehet alkalmazni.

#### IV. 3. A MAGYAR LÉGIERŐ LÉGIJÁRMŰVEINEK KÁROSANYAG KIBOCSÁTÁS CSÖKKENTÉSÉNEK ELEMZÉSE

Magyarországnak EU és NATO tagsága révén ezen szervezetek által előírt rendeleteknek, szabályozóknak eleget kell tenni, így a Magyar Légierőnek is szükséges csökkentenie a légijárművei károsanyag kibocsátását. A 14. táblázat tartalmazza a Magyar Légierő jelenleg rendszerben lévő merev- és forgószárnyas repülőgépeit.

Típus	Feladatkör	Mennyiség
Saab JAS 39 Gripen EBS HU	többfeladatú vadászrepülőgép	14 db
C-17	szállító repülőgép	3 db
Airbus A319-100	szállító repülőgép	2 db
Dassault Falcon 7X	szállító repülőgép	2 db
Zlín Z-242L	oktató- és futárrepülőgép	2 db
Zlín Z-143LSi	oktató- és futárrepülőgép	6 db
Airbus Helicopters H145M	szállító, kutató-mentő, könnyű támadó felszereltségű helikopter	19 db
Airbus Helicopters H225M	szállító helikopter	4 db
Mi-17	szállító helikopter	5 db
Mi-24 P/V	harci helikopter	8 db
Eurocopter AS 350 Écureuil	kiképző helikopter	2 db

14. táblázat A Magyar Légierő rendszerben lévő merev- és forgószárnyas repülő eszközei [220]

A vásárolt és bérelt katonai repülőgépeink esetében, az államközi szerződéseink értelmében, hazánkban nincs jogunk, lehetőségünk a rendszeresített katonai repülőeszközök hajtóműveivel olyan kísérleteket folytatni, melyek során belépünk a gyártói előírásoktól eltérő tüzelőanyagok, adalékanyagok feltöltésével ennek hatásait (pl. károsanyag kibocsátás változás) mérnénk. A fellelhető nyílt szakirodalomban erről az előállító részéről, a nálunk alkalmazott típusokra vonatkozó értékelhető adatot sem lehet fellelni. Így vizsgálataimhoz más, hasonló rendeltetésű, azonos kategóriájú és korszerűségű repülőgéphajtóművekkel folytatott vizsgálatok közreadott, publikációit használtam fel és törekedtem ezek tapasztalatait adaptálni hazai közegre.

A tesztek során JET A-1, JET A, JP-8-as kerozinok voltak a kiinduló hagyományos tüzelőanyagok, amelyek nem számottevően, de eltérnek egymástól, döntően a különböző éghajlati és évszakos követelményeknek való megfelelést biztosító adalékolásukban, ugyanakkor a szakirodalom szerint, hogy nagyon hasonlóak az elégetésük során keletkező károsanyagok, tehát ilyen szempontból egyenértékűnek tekinthetők<sup>40</sup>. Ezeket az üzemanyagokat különböző mértékben és több fajta SAF-fel keverték össze:

- ATJ-SPK – kerozin: 30-70%;
- Bio-SPK – kerozin: 50-50%;
- HEFA – kerozin: 50-50%;
- FT-GTL – kerozin: 50-50%;
- marhafaggyú – kerozin: 50-50%;
- camelina – kerozin: 50-50%. [221]

A keverékek elégetése után az alábbi károsanyagok mennyiségét vizsgálták:

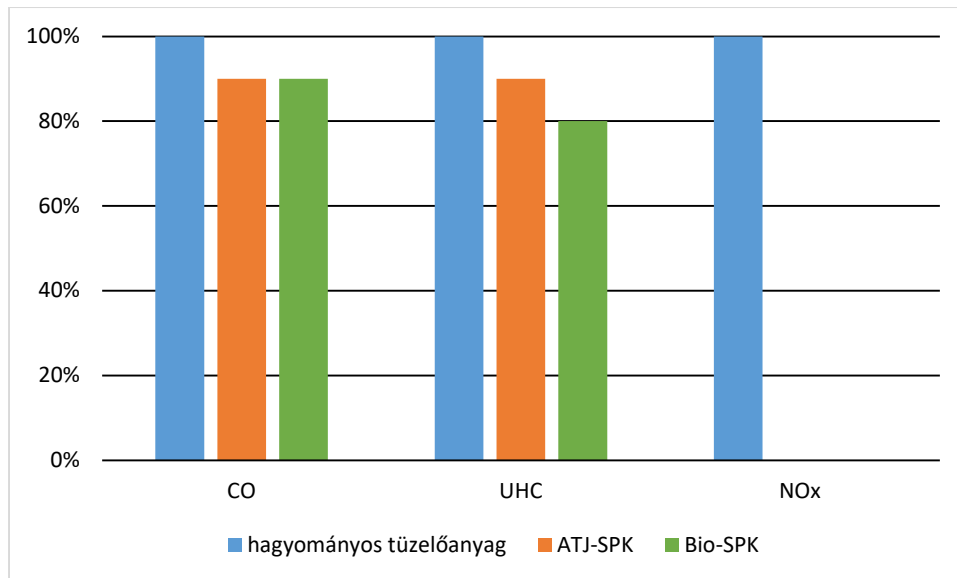
- CO: szén-monoxid;
- NO<sub>x</sub>: nitrogén-oxidok;
- UHC: el nem égett szénhidrogének;
- SO<sub>x</sub>: kén-oxidok;
- HAP: veszélyes légszennyező anyagok (aldehidek); Hazardous air pollutants
- PM<sub>2,5</sub>: legfeljebb 2,5 mikrométer átmérőjű részecskék;
- korom. [221]

---

<sup>40</sup> „The combustion of these three fuels is very similar from an emissions standpoint and for the purpose of this report they are assumed to be equivalent.” forrás: <https://nap.nationalacademies.org/catalog/25095/state-of-the-industry-report-on-air-quality-emissions-from-sustainable-alternative-jet-fuels> (11. o.)

Az elvégzett vizsgálatok eredményeit alkalmaztam a Magyar Légierő repülőgépeire. A diagramokat egyfajta prognózisként mutatom be, hogy különböző SAF-et felhasználva milyen mértékben csökkenthető a károsanyag kibocsátás.

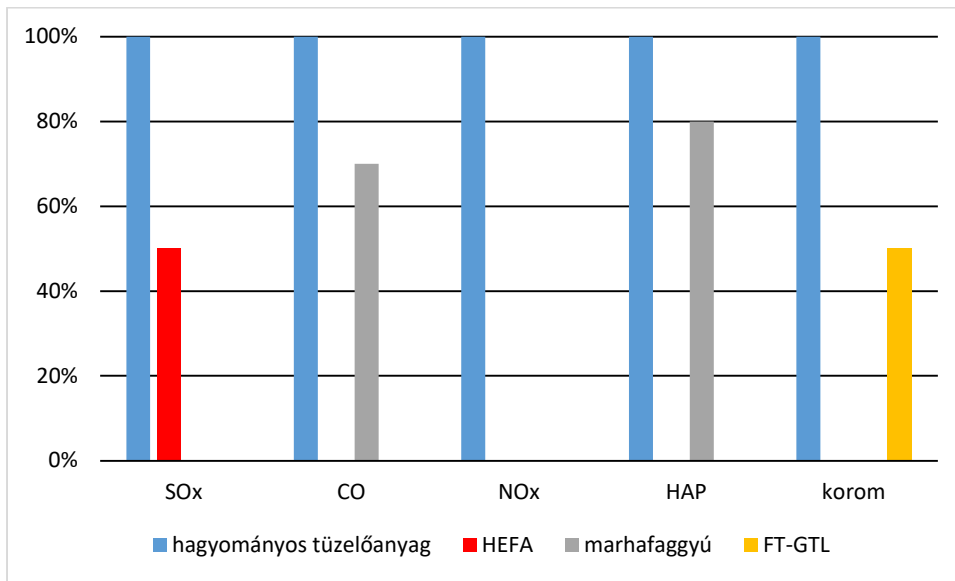
*Többcélú harcászati repülőgép kategóriában:*



93. ábra A hagyományos tüzelőanyag, az ATJ-SPK és a Bio-SPK összehasonlítása az elégetésük során keletkező károsanyagok szempontjából

Ebben a kategóriában két fajta SAF-et, ATJ-SPK-t és Bio-SPK-t felhasználva elmondható, hogy a CO mindkét esetben kismértékben csökkenni fog, NO<sub>x</sub> nem jelenik meg az elégetett keverékben. Az előbbi típusnál az UHC csak kis mértékben, míg az utóbbinál 20%-kal csökkenhet.

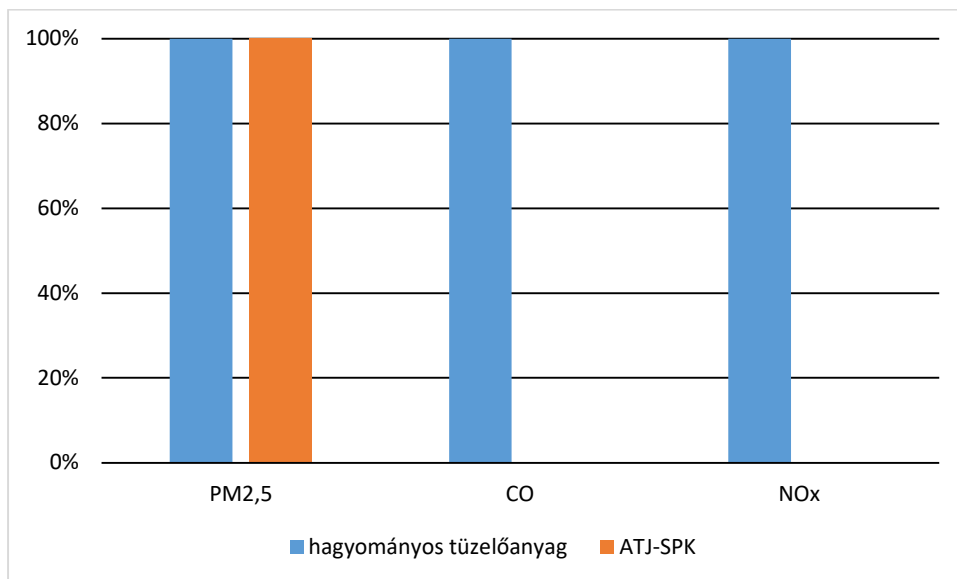
*Szállító repülőgép kategóriában:*



94. ábra A hagyományos, a marhafaggyúból előállított tüzelőanyag, a HEFA és az FT-GTL összehasonlítása az elégetésük során keletkező károsanyagok szempontjából

A szállító repülőgépek csoportjában több SAF is alkalmazható. A HEFA elégetésével várhatóan az SO<sub>x</sub> 50%-kal csökken, a marhafaggyúból előállított tüzelőanyag felhasználásával a CO és a HAP értéke kevesebb lesz, az előbbi 30%-kal, viszont az FT-GTL-nél ez nem is fog megjelenni. Továbbá ennél az alternatív üzemanyagnál a korom mennyisége 50%-ra, míg a PM<sub>2,5</sub>-é 65%-ra csökken.

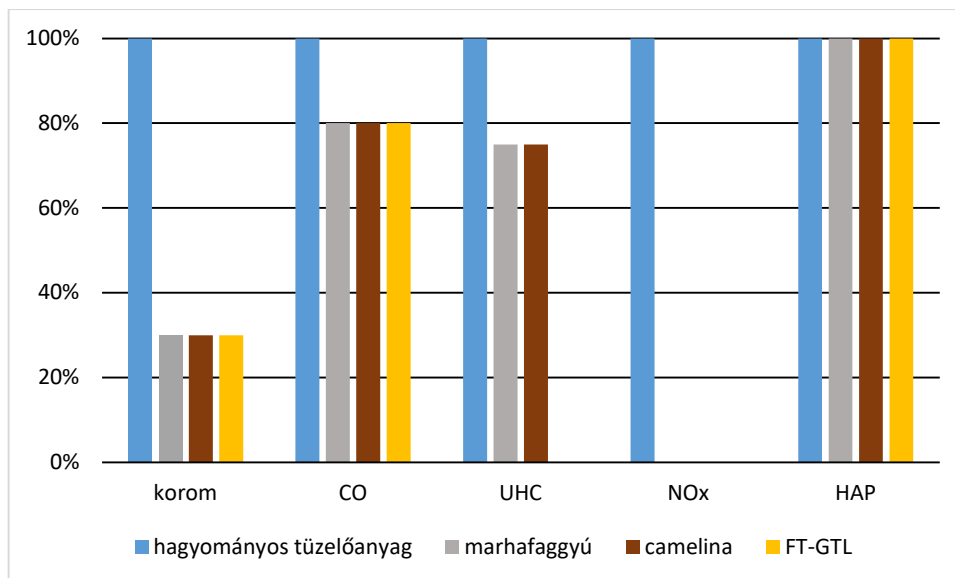
*Oktató- és futárrepülőgép kategóriában:*



95. ábra A hagyományos tüzelőanyag és az ATJ-SPK összehasonlítása az elégetésük során keletkező károsanyagok szempontjából

A repülőgépek ezen csoportjában az ATJ-SPK-t alkalmazva CO és NO<sub>x</sub> nem jelenik meg, viszont a PM<sub>2,5</sub> ugyanakkora mennyiségben lesz jelen, mint a hagyományos tüzelőanyagok esetében.

*Helikopter kategóriában:*



96. ábra A hagyományos, a marhafaggyúból, camelinából előállított tüzelőanyagok és az FT-GTL összehasonlítása az elégetésük során keletkező károsanyagok szempontjából

A helikopterek kategóriájában szintén többfajta SAF használható fel. Előnyük, hogy alkalmazásukkor NO<sub>x</sub> nem képződik, a korom termelődése is erőteljesen lecsökken, ellenben a HAP szintjük a hagyományos típusal összehasonlítva nem változik. A CO és az UHC várható értékeik is kevesebbek lesznek.

A repülőgépek üzemeltetésében egyre fontosabb szempont, hogy az általuk felhasznált tüzelőanyagok elégetésével kevesebb károsanyag kerüljön a környezetbe. Ez, a klímaváltozás és a társadalmi nyomás miatt egyre sürgetőbb lesz, hogy nemcsak a polgári, hanem a katonai repülésben, így Magyarországon is, hogy áttérjenek az SAF különböző fajtáinak az alkalmazására. Természetesen ez nem azt jelenti, hogy a repülőgépek által okozott levegőszennyezés megszűnik, de jelentős lépés a környezetvédelem területén.

## ÖSSZEGZETT KÖVETKEZTETÉSEK

Földünk éghajlata változik. Különböző természeti jelenségek mellett egyre inkább az ember befolyásol több tevékenységével, amelyekkel egyre több és több szén-dioxidot juttat a levegőbe, így fokozva az üvegházhatást. Mostanra eljutottunk odáig, hogy felismerte az emberiség, ez nem jó irány, tenni kell ellene, hiszen a klímaváltozás nem csupán azt jelenti, hogy 1-2 °C-kal melegebb lesz, hanem súlyosabb következményekkel jár, mint a szélsőségesebb időjárás, kevesebb ivóvíz, invazív fajok megjelenése, migráció, illetve akár fegyveres konfliktusok is kibontakozhatnak ezek hatására.

Több szervezet készített ajánlásokat, szabályzókat, rendeleteket a karbonsemlegesség eléréséhez. Ilyen például az Európai Unió által létrehozott EGD, amely érinti az energiaágazatot, az épületek, az ipar és a mobilitás CO<sub>2</sub> kibocsátását, és ajánlásokat tesz ennek a gáznak mennyiségi csökkentésére, hogy Európa 2050-re karbonsemleges legyen. Már ez is érinti a légiközlekedést, de vannak kifejezetten olyan társaságok, amelyek erre specializálódtak, mint az IATA, FAA, ICAO és ACARE. Mind arra törekszik, hogy segítséget nyújtson, irányt mutasson a légitársaságoknak, üzemeltetőknek, gyártóknak, hogy a fenti törekvések megvalósuljanak. De nem csak polgári repülésben, civil területen vannak ilyen tervek, hanem a katonaiakban is. A NATO 2011-ben tette közzé az MC469-es dokumentumot, amelyben megfogalmazzák, hogy a katonai műveletek során szem előtt kell tartani a környezetvédelmet. Későbbiek során ezt tovább bővítették Környezetvédelmi Szabványügyi Egyezményrel és a Szövetséges Közös Környezetvédelmi Kiadványokkal, illetve a Zöld Védelmi keretrendszerrel. Talán érdekes lehet, de a NATO nem csak környezetvédelmi szempontokból kívánja csökkenteni tevékenységei során a károsanyag kibocsátást, hanem biztonság politikai okokból is.

A légi járművek repülésük során károsanyagokat bocsátanak ki. Ennek csökkentésére több lehetőség adódik: sárkányszerkezet aerodinamikailag kedvezőbb kialakítása, olyan hajtóművek létrehozása, amelyek kevesebb üzemanyagot fogyasztanak, valamint alternatív tüzelőanyagok és meghajtások alkalmazása. Értekezéseimben az utóbbival foglalkoztam, ami nem azt jelenti, hogy az előző kettő nem fontos vagy járható út, de hosszú időt vesz igénybe tervezésük és gyártásuk, továbbá olyan megoldást kell keresni, amely a jelenleg is üzemelő repülőgépekben felhasználható. Ilyen az SAF, amely lehet bio-, illetve szintetikus eredetű. Ebbe a kategóriába csak olyan fenntartható repülőgép tüzelőanyagok kerülhetnek, amelyek a szigorú előírásoknak, szabványoknak megfelelnek (39. o.). Alkalmazásukkal kevesebb károsanyag,



kiemelten szén-dioxid kerül a levegőbe, és felhasználásával függetleníteni lehet a repülést a kőolajszármazékoktól üzemanyag szinten. Jelenleg az előállítása drágább, mint a keroziné: hulladékalapú nagyjából kétszerese, míg a szén-dioxid befogáson alapuló technológiával gyártott akár 6-10-szerese is lehet. Természetesen a fejlesztések előrehaladásával egyre olcsóbbá és elterjedtte fog válni a repülésben. A RAF egyre több légi járművén alkalmazza ezt a tüzelőanyagot, így igen jó példa arra, hogy a légi erő is tehet a környezetvédelemért. A Magyar Honvédségnek nem ennyire egyszerű a helyzete, hiszen hiába szeretné a repülőgépeit SAF-fel megtankolni, nem teheti, mert kötik a lízingszerződések. Csak akkor alkalmazhatja repülései során, ha a gyártó ezt jóváhagyja.

Az elektromos meghajtás szintén jelen van a katonai repülésben. Jelenleg inkább az UAV-k területén terjed, de kisebb repülőgépeknél, amelyeket oktatásra, kiképzésre használnak, szintén egyre nagyobb a létjogosultsága (pl. Sun Flyer repülőgépcsalád). Az előbbieket egyre több egység alkalmazza különböző katonai műveletekre. Ilyen a napelemmel és lítium-polimer akkumulátorokkal működő Silent Falcon, a PEM üzemanyagcellával ellátott Ion Tiger vagy a teljesen elektromos kivitelű Puma AE. Mindegyikről elmondható, hogy több féle kiegészítővel (pl. kamerákkal, érzékelőkkel, GPS-szel stb.) felszerelhető, így rugalmasan kiszolgálva hírszerzési, felügyeleti és felderítési feladatokat.

Nem csak a polgári repülőtereken, hanem a katonai légibázisokon is szükséges a repülőgépek mozgatása. Ezeket önerőből vagy magyar viszonylatban is repülőgép vontató gépjárművekkel oldják meg. Az előbbi hátránya, hogy saját tüzelőanyagát használja fel a repülőgép, illetve taxizás során a hajtómű idegen anyagot szippant fel a talajról, amely meghibásodáshoz vezethet. Az utóbbival az előbb említett két probléma orvosolható, de ha ez a gépjármű gázolajjal működik, akkor károsanyagokat bocsát ki a környezetbe, ráadásul ezek nem kevés üzemanyagot használnak fel. Léteznek már különböző elektromos megoldások, melyekkel az előbbiek kiküszöbölhetőek. Katonai repülőtereken ezek közül a Mototok és a Taxibot alkalmazható a legjobban. Az előbbivel több méretű, kivitelű repülőgép is vontatható, gyorsan feltölthető, illetve szolgálatba állítható, de alacsony sebessége miatt a futópálya és az indítóhely közötti mozgatásra nem alkalmas. Ezekre a helyváltoztatásokra viszont megfelelő az utóbbi.

Az energiahatékonyság, takarékoság és ezekkel összefüggően a környezetvédelem szempontjából fontos megvizsgálni a repülőterek kiszolgáló épületeit is. A régen épített, mára elavulttá váló építmények és a bennük található épületgépészeti és elektromos rendszerek nem költséghatékonyak. Ahhoz, hogy ez ne így legyen, szükség van korszerűsítésekre: a

létesítményeket hőszigeteléssel kell ellátni, megújuló energiákat kell bevonni a fűtés, HMV és elektromos áram ellátásába, korszerű fényforrásokat (külterén is pl. futópályákon), energiatermelő, hőleadó berendezéseket kell felszerelni. Ezek a beruházások legyen az hőtechnikai, épületgépészeti, elektromos oldalon elvégzett bár igen költségesek, mégis megtérülő befektetés, amellyel nem csak a komfortot tudjuk növelni, hanem az üzemeltetés költségeit csökkenteni. Ezekre jó példák már vannak a Magyar Honvédség különböző bázisain, helyőrségeiben elvégzett felújításokról, mint például a KEHOP-on belül napelemek felszerelése 13 helyszínrre, Pápán geotermikus rendszer telepítése vagy a Honvédelmi Minisztérium épületeinek energetikai fejlesztése. Ezek mind nagyon jó irányok, hogy a Magyar Honvédség is környezetbarátabb, korszerűbb és költséghatékonyabb üzemeltetésre tudjon átállni, továbbá a Nemzeti Épületenergetikai Stratégiában is szerepel, hogy az állami vagy önkormányzati tulajdonban, kezelésben lévő épületeknek az energia felhasználást mérsékelni szükséges. Ezekkel a korszerűsítésekkel megvalósítható.

## ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

Összegyűjtöttem és igazoltam a kapcsolódó szakirodalmak, utasítások és helyszíni vizsgálataim alapján, hogy a hazai repülőtereken is, a jelenleg alkalmazott kerozint különböző típusú SAF-ekkel keverve a Magyar Légierő károsanyag kibocsátása csökkenthető.

Döntően nagyforgalmú, polgári repülőterek légiüzemeltetési energiafelhasználásának vizsgálata alapján megállapítottam és igazoltam, hogy katonai repülőtereken is a légijárművek repülőtéri mozgása és gurulótakon történő haladása során a Taxibot és a Mototok (esetleg Wheel Tug, EGTS – Electric Green Taxiing System), Moonware elektromos, illetve dízel push-back járműveit alkalmazva számottevő repülőgépezemanyag, hajtóműüzemidő-megtakarítás, károsanyag-, valamint zajkibocsátás, és sérülés csökkentés érhető el.

Vizsgálataim alapján megállapítottam, hogy a repülőtéri infrastruktúra esetében is a megújuló energiaforrások felhasználása, az energetikai, épületgépészeti, elektromos korszerűsítések szükségességszerűek. A rendelkezésre álló információk alapján igazoltam, hogy:

1. repülőterek üzemeltetésébe bevonva a megújuló energiaforrásokat az ehhez kapcsolódó működtetési költségek csökkenthetők;
2. épületenergetikai, épületgépészeti és elektromos rendszerek korszerűsítésével, energiatakarékos berendezések beépítésével az üzemeltetési költségek alacsonyabbak lesznek.

Karbonlábnyom számítást végeztem az Alfa katonai repülőterre vonatkozóan, melyből igazolódott:

1. üvegházhatású gázok legnagyobb mennyiségben a repülőgépek tüzelőanyagainak elégetéséből származnak;
2. a hajtóművek üvegházhatású gázai kibocsátásának mértéke csökkenthető, ha működtetésükhöz SAF-et alkalmaznak, továbbá ha a meglévő, üzemelő épületgépészeti és elektromos rendszereket korszerűsítik, és/vagy más energiabázisúra cserélik.

## A TÉMAKÖRBE KÉSZÜLT PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE

### **Könyv**

#### **Lektorált könyv, tankönyv, jegyzet (online is)**

ROZOVICSNÉ FEHÉR K.: Alternatív üzemanyagokhoz, meghajtásokhoz kapcsolódó fejlesztések a 2015-ös évben. *Repüléstudományi Szemelvények 2016* (2016) pp. 191-204., 14 p., ISBN 978-615-5057-70-0 <http://www.repulestudomany.hu/kiadvanyok/RepSzem-2016.pdf>

ÓVÁRI GY., FEHÉR K.: Alternatív tüzelőanyagok alkalmazásának realitásai a repülésben, a XXI. század első felében. *Repüléstudományi Szemelvények 2017* (2017) pp. 113-158., 46 p., ISBN 978-615-5764-80-6 <http://www.repulestudomany.hu/kiadvanyok/RepSzem-2017.pdf>

### **Folyóiratcikk**

#### **Hazai megjelenésű lektorált folyóiratban**

#### **Idegen nyelvű MTA A-B kategóriás folyóiratban**

FEHÉR K.: Biomass as raw material of aircraft fuels. *Repüléstudományi Közlemények*, XXX. 3. (2018), pp. 123-138., 16 p. ISSN 1789-770X (online), [http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2018\\_3/2018-3-09-0176-Feher\\_Krisztina.pdf](http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2018_3/2018-3-09-0176-Feher_Krisztina.pdf)

### **Folyóiratcikk**

#### **Hazai megjelenésű lektorált folyóiratban**

#### **Magyar nyelvű MTA A-B kategóriás folyóiratban**

ÓVÁRI GY., KAVAS L., ROZOVICSNÉ FEHÉR K.: Solar Impulse. *Repüléstudományi Közlemények*, XXVII 1 (2015), pp. 30-40., 11 p., ISSN 1789770X (online), [http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2015\\_1/2015-1-03-0184-Kavas\\_L-Ovari\\_Gy-R\\_Feher\\_K.pdf](http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2015_1/2015-1-03-0184-Kavas_L-Ovari_Gy-R_Feher_K.pdf)

ÓVÁRI GY., KAVAS L., ROZOVICSNÉ FEHÉR K.: A gazdaságos és környezetkímélő repülés feltételei megteremtésének lehetőségei a repülőtereken. *Repüléstudományi Közlemények*, XXVII 1. (2015) pp. 7-17., 11 p., ISSN 1789770X (online), [http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2015\\_1/2015-1-01-0216-Kavas\\_L-Ovari\\_Gy-Rne\\_Feher\\_K.pdf](http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2015_1/2015-1-01-0216-Kavas_L-Ovari_Gy-Rne_Feher_K.pdf)

ROZOVICSNÉ FEHÉR K.: Biodízel előállítása halolajból Brazíliában. *Repüléstudományi Közlemények*, XXVIII 3 (2016), pp. 151-158., 8 p., ISSN 1789770X (online), [http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2016\\_3/2016-3-10-0358\\_Rozovicsne\\_Feher\\_Krisztina.pdf](http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2016_3/2016-3-10-0358_Rozovicsne_Feher_Krisztina.pdf)

ÓVÁRI GY., FEHÉR K.: A mikroalgák felhasználási lehetőségei a biodízel üzemanyagok előállításában. *Repüléstudományi Közlemények*, XXIX 2 (2017), pp. 119-136., 18 p., ISSN

1789770X (online), [http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017\\_2/2017-2-11-0402\\_Feher\\_Krisztina-Ovari\\_Gyula.pdf](http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_2/2017-2-11-0402_Feher_Krisztina-Ovari_Gyula.pdf)

FEHÉR K.: A repülésben használható korszerű bioüzemanyagok. *Hadmérnök*, XII 2 (2017), pp. 108-122., 15 p., ISSN 1788-1919, [http://hadmernok.hu/172\\_09\\_feher.pdf](http://hadmernok.hu/172_09_feher.pdf)

ÓVÁRI GY., FEHÉR K.: Repülőgépek elektromos meghajtása – szükségyszerűség kompromisszumokkal I. rész. *Haditechnika*, LIV. 6. (2020), pp. 5-10., 6 p., ISSN 0230-6891 (nyomtatott)

ÓVÁRI GY., FEHÉR K.: Repülőgépek elektromos meghajtása – szükségyszerűség kompromisszumokkal II. rész. *Haditechnika*, LV. 1. (2021), pp. 15-19., 5 p., ISSN 0230-6891 (nyomtatott)

ÓVÁRI GY., FEHÉR K.: Repülőgépek elektromos meghajtása – szükségyszerűség kompromisszumokkal III. rész. *Haditechnika*, LV. 2. (2021), pp. 13-18., 6 p., ISSN 0230-6891 (nyomtatott)

ÓVÁRI GY., FEHÉR K.: Repülőgépek elektromos meghajtása – szükségszerűség kompromisszumokkal IV. rész. *Haditechnika*, LV. 3. (2021), pp. 17-24., 8 p., ISSN 0230-6891 (nyomtatott)

ÓVÁRI GY., FEHÉR K.: Repülőgépek elektromos meghajtása – szükségszerűség kompromisszumokkal V. rész. *Haditechnika*, LV. 4. (2021), pp. 15-19., 5 p., ISSN 0230-6891 (nyomtatott)

ÓVÁRI GY., FEHÉR K.: Repülőgépek elektromos meghajtása – szükségszerűség kompromisszumokkal VI. rész. *Haditechnika*, LV. 5. (2021), pp. 22-26., 5 p., ISSN 0230-6891 (nyomtatott)

#### ***Folyóiratcikk***

***Hazai megjelenésű lektorált folyóiratban***

***Magyar nyelvű MTA C-D kategóriás folyóiratban***

ROZOVICSNÉ FEHÉR K.: Gazdaságos és környezetbarát üzemeltetés lehetőségei a repülésben. *Műszaki Katonai Közlöny*, XXVI 2 (2016), pp. 152-166., 15 p., ISSN 2063-4986, [http://www.hhk.uni-nke.hu/downloads/kiadvanyok/mkk.uni-nke.hu/PDF\\_2016\\_2sz/012\\_Rozovicsne%20Feher%20Krisztina.pdf](http://www.hhk.uni-nke.hu/downloads/kiadvanyok/mkk.uni-nke.hu/PDF_2016_2sz/012_Rozovicsne%20Feher%20Krisztina.pdf)

FEHÉR K.: Alternatív tüzelőanyagok alkalmazása a repülésben. *Műszaki Katonai Közlöny*, XXVIII. 2. (2018), pp. 43-56., 14 p., ISSN 2063-4986, [https://mkk.uni-nke.hu/document/mkk-uni-nke-hu/2018\\_2\\_04\\_Feher%20Krisztina\\_MKK%20cikk.pdf](https://mkk.uni-nke.hu/document/mkk-uni-nke-hu/2018_2_04_Feher%20Krisztina_MKK%20cikk.pdf)

**Konferencia**

**Nemzetközi szakmai konferencia kiadványában megjelent (online is)  
Lektorált konferenciaközleményben idegen nyelven megjelent előadás**

TÓTH J., ROZOVICSNÉ FEHÉR K.: Methodological question of cost-benefit analysis for projects connected with application of alternative fuels in public aviation. *Scientific Research and Education in the Air Force*, 2017 Vol. II. (2017) pp. 225-230, 6 p., ISSN 2247-3173 [https://www.afahc.ro/afases/volum\\_afases\\_2017\\_II.pdf](https://www.afahc.ro/afases/volum_afases_2017_II.pdf)

**Konferencia**

**Hazai szakmai konferencia kiadványában megjelent (online is)  
Saját nyelvű előadás**

ÓVÁRI GY., BÉKÉSI L., ROZOVICSNÉ FEHÉR K.: A napenergia és a repülőgépek, *Szolnoki Tudományos Közlemények*, XVIII., (2014) pp. 69-78., 10 p., ISSN 2060-3002, [http://tudomany.szolnok-mtesz.hu/kulonszamok/2014/2014-18-07-Rozovicsne\\_F\\_K-Ovari\\_Gy-Bekesi\\_L.pdf](http://tudomany.szolnok-mtesz.hu/kulonszamok/2014/2014-18-07-Rozovicsne_F_K-Ovari_Gy-Bekesi_L.pdf)

ROZOVICSNÉ FEHÉR K.: Korszerű eljárások a légijárművek energiatakarékos és környezetkímélő üzemeltetésének javítására. *Economica* VIII. 4/2. (2015) pp. 189-199., 11 p., ISSN 1585-6216, <http://tudomany.szolportal.hu/downloadmanager/download/nohtml/1/id/3003739/>

ÓVÁRI GY., KAVAS L., ROZOVICSNÉ FEHÉR K.: A gazdaságosság, a környezetvédelem és a megújuló energiaforrások aktuális kérdései a repülésben. *Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban 2015*, (2015) pp. 460-470., 11 p., ISBN 978-963-7064-32-6 <http://docplayer.hu/36265887-Muszaki-tudomany-az-eszak-kelet-magyarorszagi-regioban-2015.html>

ÓVÁRI GY., KAVAS L., ROZOVICSNÉ FEHÉR K.: Üzemanyagcella alkalmazása a repülésben. *Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban 2016*, (2016) pp. 182-195., 14 p., ISBN 978-963-7064-33-3 [https://www.dropbox.com/s/3q7mnd30qultaw8/MT%C3%89KMR\\_kiadv%C3%A1ny\\_2016.pdf?dl=0](https://www.dropbox.com/s/3q7mnd30qultaw8/MT%C3%89KMR_kiadv%C3%A1ny_2016.pdf?dl=0)

## FOGALMAK ÉS RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

**ACARE:** Advisory Council for Aeronautics Research in Europe – Európai Légügyi Kutatói Tanácsadói Testületet

**ACI:** Airports Council International – Repülőterek Nemzetközi Tanácsa

**ADNOC:** Abu Dhabi National Oil Company – Abu-Dhabi Nemzeti Olaj Társaság

**ADVOC:** Abu Dhabi Vegetable Oil Company – Abu-Dhabi Növényi Olaj Társaság

**AFB:** Air Force Base – légierő bázis

**APU:** Auxiliary Power Unit – segédhajtómű

**ASTM:** American Society for Testing and Materials – Amerikai Anyagvizsgáló Társaság

**ATJ:** Alcohol To Jet – alkoholból történő tüzelőanyag előállítás

**BTL:** Biomass to Liquid Fuel – biomassából folyékony üzemanyag

**CAEP:** Committee on Aviation Environmental Protection – Repülési Környezetvédelmi Bizottság

**CORSIA:** Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation – Nemzetközi Légiközlekedés Szén-dioxid Ellentételezési és Csökkentési Tervezete

**CTL:** Coal to Liquid Fuel – szénből folyékony üzemanyag

**DSHC:** Direct Sugar to Hydrocarbon – cukor közvetlen átalakítása szénhidrogénné

**EASA:** European Union Aviation Safety Agency – Európai Unió Repülésbiztonsági Ügynöksége

**EFTA:** European Free Trade Association – Európai Szabadkereskedelmi Társulás

**EEA:** European Environment Agency – Európai Környezetvédelmi Ügynökség

**EMEC:** European Marine Energy Centre – Európai Tengeri Energia Központ

**ETS:** Emission Trading System – Kibocsátás Kereskedelmi Rendszer

**FAA:** Federal Aviation Administration - Szövetségi Légi Irányítás

**GTL:** Gas to Liquid Fuel – gázból folyékony üzemanyag

**HAP:** Hazardous Air Pollutants – veszélyes légszennyező anyagok

**HARE:** Hydrogen Airport Refuelling Ecosystem – Repülőtéri Hidrogén Utántöltési Ökorendszer

**HEFA:** Hydroprocessed Esters and Fatty Acids - hidrogénezett észterek és zsírsavak

**HRJ:** Hydroprocessed Renewable Jet Fuel – hidrogénezett megújuló sugárhajtómű üzemanyag

**IAI:** Israel Aerospace Industries – Izraeli Légügyi Iparágak

**IATA:** International Air Transport Association – Nemzetközi Légi Szállítási Szervezet

**ICAO:** International Civil Aviation Organization – Nemzetközi Polgári Légiközlekedési Szervezet

**IPFEN:** IFP Energies nouvelles – Az energia, a közlekedés és a környezetvédelem területein kutatásokat végző, illetve képzéseket lebonyolító francia központ.

**ISCC:** International Sustainability and Carbon Certification – Nemzetközi Fenntarthatósági és Szén-dioxid Tanúsítvány

**KTOE:** kilotonne of oil equivalent – kőolaj egyenérték kilotonna (toe: tonne of oil equivalent – energiaegység, mely egy tonnányi nyersolaj elégetésekor szabadul fel)

**LED:** Light Emitted Diode – fényemittáló dióda

**LEED:** Leadership in Energy and Environmental Design – Vezető az energia és környezetvédelmi kivitelezésében

**N/A:** Not Available – nem elérhető

**NÉeS:** Nemzeti Épületenergetikai Stratégia

**PPM:** part per million – egész rész milliomod része

**RED:** Renewable Energy Directive – Megújuló Energia Direktíva

**RFS:** Renewable Fuel Standard – Megújuló Üzemanyag Szabvány

**SAF:** Sustainable Aviation Fuel – fenntartható forrásból származó tüzelőanyag

**SBRC:** Sustainable Bioenergy Research Consortium – Fenntartható Bioenergia Kutatási Konzorcium

**UHC:** Unburned Hydrocarbons – el nem égett szénhidrogének

**UK MoD:** United Kingdom Ministry of Defence – Egyesült Királyság Védelmi Minisztériuma



## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Egymillió fecske tűnt el Magyarországról, és ebből nagy baj lehet. *168 óra*, (2019. február 21.), <https://168ora.hu/életmod/egymillio-fecske-tunt-el-magyarorszagrol-es-ebbol-nagy-baj-lehet-163962> (letöltve: 2019. 02. 25.)
- [2] Atmospheric CO<sub>2</sub> at Mauna Loa Observatory. Earth System Research Laboratory honlap, <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/> (letöltve: 2020. 03. 26.)
- [3] CO<sub>2</sub> emission from burning fossil fuels. *Bundesverband der Deutschen Luftverkehrswirtschaft* honlap. [https://www.bdl.aero/download/1350/bdl\\_ee2014\\_eng\\_s6\\_2.png](https://www.bdl.aero/download/1350/bdl_ee2014_eng_s6_2.png) (letöltve: 2017. 09. 28.)
- [4] KÖRTVÉLYES T.: Hat százalékkal nőtt az utasforgalom az európai repülőtereken. *AIRportal.hu*, (2019. 02. 08.), <https://airportal.hu/hat-szazalekkal-nott-az-utasforgalom-az-europai-repulotereken/> (letöltve: 2019. 02. 27.)
- [5] KÖRTVÉLYES T.: IATA: 20 év alatt 8,2 milliárdra nő a légi utasforgalom. *AIRportal.hu*, (2018. 10. 24.), <https://airportal.hu/iata-20-ev-alatt-82-milliardra-no-a-legi-utasforgalom/> (letöltve: 2019. 02. 27.)
- [6] MOLNÁR CS.: Egyre jobban ölik a Földet a repülők. *Index*, (2019. 01. 06.), [https://index.hu/techtud/2019/01/06/zold\\_repules\\_klimavaltozas\\_kerozin\\_szendioxid/](https://index.hu/techtud/2019/01/06/zold_repules_klimavaltozas_kerozin_szendioxid/) (letöltve: 2019. 05. 04.)
- [7] EASA: European Aviation Environmental Report 2019. *Eurocontrol honlapja*, <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/eaer-2019.pdf> (letöltve: 2019. 05. 17.)
- [8] BERA J., POKORÁDI L.: *Helikopterzaj elmélete és gyakorlata*. Debrecen: Campus Kiadó, (2010), ISBN 978-963-9822-10-8, online: <https://mek.oszk.hu/12000/12084/12084.pdf> (letöltve: 2023. 09. 17.)
- [9] BERA J., POKORÁDI L.: *Repülési zaj kezelésének bizonytalansága*. Repüléstudományi Közlemények, 3, különszám (2013), 730 p [https://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2013\\_cikkek/2013-2-55-Bera\\_Jozsef-Pokoradi\\_Laszlo.pdf](https://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2013_cikkek/2013-2-55-Bera_Jozsef-Pokoradi_Laszlo.pdf) (letöltve: 2023. 09. 17.)
- [10] CHUCK, C. J. (szerk.): *Biofuels for Aviation, Feedstocks, technology and Implementation*. London: Academic Press, 2016., ISBN 978-0-12-804568-8
- [11] Phases 1 and 2 (2005-2012). *European Commission*, [https://ec.europa.eu/clima/policies/ets/pre2013\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/ets/pre2013_en) (letöltve: 2020. 03. 31.)

- [12] *EU Emissions Trading System (EU ETS)*. European Commission, [https://ec.europa.eu/clima/policies/ets\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_en) (letöltve: 2020. 03. 31.)
- [13] What is the European Green Deal? *European Commission*, (December 2019), [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/fs\\_19\\_6714](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/fs_19_6714) (letöltve: 2020. 03. 20.)
- [14] Sustainable Mobility. *European Commission*, (December 2019), [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/FS\\_19\\_6726](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/FS_19_6726) (letöltve: 2020. 03. 20.)
- [15] VARGA B., TÓTH J.: A széndioxid, mint legfőbb „ellenség”, avagy mi az ICAO által létrehozott „CORSA” szerepe ebben a harcban. *Repüléstudományi Közlemények*, XXIX 3 (2017), 243-252. [http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017\\_3/2017-3-19-0437\\_Varga\\_Bela-Toth\\_Jozsef.pdf](http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_3/2017-3-19-0437_Varga_Bela-Toth_Jozsef.pdf) (letöltve: 2019. 05. 20.)
- [16] WARWICK, G.: COVID-Hit Airlines Press For Change To ICAO’s Carbon Offsetting Scheme. *Aviation Week*, (April 09, 2020), [https://aviationweek.com/air-transport/airlines-lessors/covid-hit-airlines-press-change-icaos-carbon-offsetting-scheme?utm\\_rid=CPEN1000002763772&utm\\_campaign=23721&utm\\_medium=email&elq2=d4fb1e35897%E2%80%A6](https://aviationweek.com/air-transport/airlines-lessors/covid-hit-airlines-press-change-icaos-carbon-offsetting-scheme?utm_rid=CPEN1000002763772&utm_campaign=23721&utm_medium=email&elq2=d4fb1e35897%E2%80%A6) (letöltve: 2020. 04. 11.)
- [17] Az éghajlatváltozás kezelése az EU-ban. *Európai Tanács honlapja*, <https://www.consilium.europa.eu/hu/policies/climate-change/> (letöltve: 2019. 05. 20.)
- [18] Environmental Protection: NATO Policies and National Views. *Legal Gazette*, Issue 40, (November 2019), [https://www.act.nato.int/application/files/5515/7428/7917/legal\\_gazette\\_40.pdf](https://www.act.nato.int/application/files/5515/7428/7917/legal_gazette_40.pdf) (letöltve: 2021. 02. 17.)
- [19] Environment – NATO’s stake. *NATO*, (09 Oct. 2020), [https://www.nato.int/cps/en/natohq/topics\\_91048.htm](https://www.nato.int/cps/en/natohq/topics_91048.htm) (letöltve: 2021. 02. 17.)
- [20] NATO and the security implications of climate change (Virtual speech by NATO Secretary General Jens Stoltenberg). *NATO*, (28 Sep. 2020), [https://www.nato.int/cps/en/natohq/opinions\\_178355.htm](https://www.nato.int/cps/en/natohq/opinions_178355.htm) (letöltve: 2021. 02. 17.)
- [21] Самолет едет, двигатели стоят. *Aviaglobus*, (2013. 01. 05.), <http://aviaglobus.ru/2013/01/05/5144/> (letöltve: 2015.02.15)
- [22] MTI: Megvan a klímakatasztrófa elkerülésének terve. *HVG*, (2019. május. 07.), [https://hvg.hu/gazdasag/20190507\\_Megvan\\_a\\_klimakatasztrofa\\_elkerulesenek\\_terve](https://hvg.hu/gazdasag/20190507_Megvan_a_klimakatasztrofa_elkerulesenek_terve) (letöltve: 2019. 05. 10.)

- [23] Megújuló energia: A Tanács megerősíti az Európai Parlamenttel létrejött megállapodást. *Európai Tanács honlapja*, (2018.6.27), <https://www.consilium.europa.eu/hu/press/press-releases/2018/06/27/renewable-energy-council-confirms-deal-reached-with-the-european-parliament/> (letöltve: 2019. 05. 10.)
- [24] WINTHER, M., RYPDAL, K.: EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016. *European Environment Agency*, (2016), <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016> (letöltve: 2019. 05. 09.)
- [25] Mapping Crude Oil Reserves Around the World. *howmuch.net Understanding Money*, (25 March 2019), <https://howmuch.net/articles/worlds-biggest-crude-oil-reserves-by-country> (letöltve: 2023. 04. 10.)
- [26] ÓVÁRI GY., SZEGEDI P.: Alternatív üzemanyagok alkalmazásának lehetőségei a repülésben. *Repüléstudományi Közlemények*, 2, különszám (2010), 29 p [http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2010\\_cikkek/Ovari\\_Gyula-Szegedi\\_Peter.pdf](http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2010_cikkek/Ovari_Gyula-Szegedi_Peter.pdf) (letöltve: 2016. 09. 09.)
- [27] WTI Crude Oil Prices - 10 Year Daily Chart. *Macrotrends honlap*, <https://www.macrotrends.net/2516/wti-crude-oil-prices-10-year-daily-chart> (letöltve: 2019. 02. 27.)
- [28] MARTINS, G. I., SECCO, D., et al.: Potential of tilapia oil and waste in biodiesel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42 (2015), 234-239. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114008375> (letöltve: 2016.08.16.)
- [29] 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.)
- [30] CHISTI, Y.: Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*, 25 3 (2007), 294-306, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0734975007000262> (letöltve: 2017. 01. 23.)
- [31] 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.)
- [32] Szerző által készítve a Biofuel honlap táblázata alapján. <http://biofuel.org.uk/types-of-biofuels.html> (letöltve: 2018. 02. 13.)

- [33] 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.)
- [34] 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.)
- [35] ÓVÁRI GY., SZEGEDI PÉTER: Hagyományos repülőgép-üzemanyagok kiváltásának lehetőségei és korlátai. *Hadmérnök*, V 4 (2010), 16-37. o. [http://hadmernok.hu/2010\\_4\\_ovari\\_szegedi.pdf](http://hadmernok.hu/2010_4_ovari_szegedi.pdf) (letöltve: 2016. 09. 09.)
- [36] Dr. Óvári Gy.: Gázok és villamosság, mint lehetséges repülőgép üzemanyagok, *Haditechnika* XLVIII. 3. (2014) 5-10.
- [37] Rheinland Energie honlapja, [http://www.rheinland-energie.de/fileadmin/\\_processed\\_/csm\\_shell-gtl-comparison\\_8e7a2389ce.jpg](http://www.rheinland-energie.de/fileadmin/_processed_/csm_shell-gtl-comparison_8e7a2389ce.jpg) (letöltve: 2017. 02. 08.)
- [38] CARRICO, Y.: The USAF And Alternative Jet Fuel: How To Fuel The Future Of Airpower. *Air Command And Staff College Air University Maxwell Air Force Base, Alabama*, (February 2009), <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a540172.pdf> (letöltve: 2017. 06. 09.)
- [39] ATAG: Beginner’s Guide to Sustainable Aviation Fuel. *Aviation Benefits Beyond Borders*, 3rd Edition, (November 2017), [https://aviationbenefits.org/media/166152/beginners-guide-to-saf\\_web.pdf](https://aviationbenefits.org/media/166152/beginners-guide-to-saf_web.pdf) (letöltve: 2020. 03. 12.)
- [40] CHUCK, C. J.: The major routes to aviation biofuels presented in the book. *Biofuels for Aviation (Feedstocks, Technology and Implementation)*, p. XV., London: Academic Press (Elsevier), 2016, ISBN: 978-0-12-804568-8
- [41] 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.)
- [42] *Iowa State University honlapja*, <https://www.cset.iastate.edu/files/2011/06/Screen-Shot-2011-10-21-at-2.08.20-PM-1024x544.png> (letöltve: 2017. 05. 02.)

- [43] *Shell vállalat honlapja*, <https://www.shell.com/energy-and-innovation/natural-gas/gas-to-liquids.html> (letöltve: 2018. 04. 03.)
- [44] CHISTI, Y.: Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*, 25 3 (2007), 294-306. o., <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0734975007000262> (letöltve: 2017. 01. 23.)
- [45] *Sasol vállalat honlapja*, <http://www.sasol.com/innovation/gas-liquids/overview> (letöltve: 2018. 04. 04.)
- [46] 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.)
- [47] KENNEDY, D.: Canadian firm builds giant 'scrubber' to pull CO2 from the air. *Cleantech Canada*, (August 12, 2015) <http://www.canadianmanufacturing.com/technology/canadian-firm-builds-giant-scrubber-to-pull-co2-from-the-air-152497/> (letöltve: 2016. 02. 03.)
- [48] *Carbon Engineering vállalat honlapja*, <http://carbonengineering.com/> (letöltve: 2018. 03. 28.)
- [49] 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. *enviroment 360*, [http://e360.yale.edu/slideshow/rethinking\\_carbon\\_dioxide\\_from\\_pollutant\\_to\\_asset/70/1/](http://e360.yale.edu/slideshow/rethinking_carbon_dioxide_from_pollutant_to_asset/70/1/) (letöltve: 2016. 02. 04.)
- [50] CE's Air Capture System: In's and Out's. *Carbon Engineering vállalat honlapja*, <http://carbonengineering.com/air-capture/> (letöltve: 2016. 02. 04.)
- [51] 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/> (letöltve: 2016. 02. 03.)
- [52] Renewable Fuels. *Honeywell UOP vállalat honlapja*, <https://www.uop.com/processing-solutions/renewables/> (letöltve: 2019. 02. 18.)
- [53] GRAMLING, C.: As Green As It Gets: Algae Biofuels. *EARTH The Science Behind The Headlines*, (February 13, 2009.), <https://www.earthmagazine.org/article/green-it-gets-algae-biofuels> (letöltve: 2017. 02. 07.)
- [54] *Cellana vállalat honlapja*, <http://cellana.com/> (letöltve: 2017. 02. 20.)

- [55] LO, J.: Turkey opens laboratory to grow algae for jet fuel, in EU-backed clean aviation push. *Climate Home News*, (31/01/2022), <https://www.climatechangenews.com/2022/01/31/turkey-opens-laboratory-grow-algae-jet-fuel-eu-backed-clean-aviation-push/> (letöltve: 2022. 03. 15.)
- [56] BLACHLY, L.: Gallery: SAF Initiatives, Cleaner Aircraft Development Take Off. *Aviation Week*, [https://aviationweek.com/special-topics/sustainability/gallery-saf-initiatives-cleaner-aircraft-development-take?elq=f5128ea721cd4b8cba087c017f782e79&elq2=f5128ea721cd4b8cba087c017f782e79&elqCampaignId=26763&elqTrackId=45373BD06CF6164CAB1D7E7BB019856C&elqaid=31629&elqat=1&utm\\_campaign=31629&utm\\_emailname=AW\\_News\\_Air\\_Transport\\_20220209&utm\\_medium=email&utm\\_rid=CPEN1000002763772](https://aviationweek.com/special-topics/sustainability/gallery-saf-initiatives-cleaner-aircraft-development-take?elq=f5128ea721cd4b8cba087c017f782e79&elq2=f5128ea721cd4b8cba087c017f782e79&elqCampaignId=26763&elqTrackId=45373BD06CF6164CAB1D7E7BB019856C&elqaid=31629&elqat=1&utm_campaign=31629&utm_emailname=AW_News_Air_Transport_20220209&utm_medium=email&utm_rid=CPEN1000002763772) (letöltve: 2022. 03. 15.)
- [57] *GranBio vállalat honlapja*, <http://www.granbio.com.br/en/> (letöltve: 2019. 04. 29.)
- [58] *Byogy Renewables vállalat honlapja*, <http://www.byogy.com/index.html> (letöltve: 2019. 04. 29.)
- [59] SHERRARD, A.: PNNL and LanzaTech recycle carbon into new jet fuel used in historic flight. *Bioenergy International*, (October 3, 2018.), <https://bioenergyinternational.com/biofuels-oils/pnnl-and-lanzatech-recycle-carbon-into-new-jet-fuel-used-in-historic-flight> (letöltve: 2018. 10. 26.)
- [60] SHERER, K.: Airbus completes world first GTL powered flight. *New Atlas*, (February 5th, 2008), <https://newatlas.com/airbus-completes-world-first-gtl-powered-flight/8756/> (letöltve: 2019. 05. 02.)
- [61] A szintetikus üzemanyagok. *Haditechnikai Kereszttal*, (2010. 01. 07.), <http://htka.hu/2010/01/07/a-szintetikus-uzemanyagok/> (letöltve: 2015. 10. 20.)
- [62] ÓVÁRI GY., FEHÉR K.: Alternatív tüzelőanyagok alkalmazásának realitása a repülésben, a XXI. század első felében. *Repüléstudományi Szemelvények 2017*, (2017) 113-157., ISBN 978-615-5764-80-6, <http://www.repulestudomany.hu/kiadvanyok/RepSzem-2017.pdf>
- [63] KEITH, R.: Engineers test biofuel in helicopters. *The official homepage of the United States Army*, (October 16., 2014.) [www.army.mil/article/136334/Engineers\\_test\\_bio\\_fuel\\_in\\_helicopters/](http://www.army.mil/article/136334/Engineers_test_bio_fuel_in_helicopters/) (letöltve: 2015. 10. 02.)
- [64] GREGORY, M.: Gevo Supplies U.S. Army With ATJ-8 Fuel for the Black Hawk Helicopter. *American Fuels*, (December 23, 2013),

- <http://www.americanfuels.net/2013/12/gevo-supplies-us-army-with-atj-8-fuel.html>  
(letöltve: 2017. 04. 28.)
- [65] 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.)
- [66] GROSSMANN, D.: Virgin 747 Completes Transatlantic Flight With Fuel Made Partly From Industrial Waste. *Popular Mechanics*, (Oct 5, 2018), <https://www.popularmechanics.com/flight/airlines/a23602200/virgin-747-completes-transatlantic-flight-with-fuel-made-partly-from-industrial-waste/> (letöltve: 2019. 02. 11.)
- [67] The Boeing ecoDemonstrator Program. *Boeing vállalat honlapja*, (2015), [http://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/principles/environment/pdf/Background\\_ecoDemonstrator.PDF](http://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/principles/environment/pdf/Background_ecoDemonstrator.PDF) (letöltve: 2017. 04. 28.)
- [68] 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.)
- [69] Solazyme Fuels First U.S. Commercial Passenger Flight. *AlgaeIndustryMagazine.com.*, (November 7, 2011.), <http://www.algaeindustrymagazine.com/solazyme-fuels-first-u-s-commercial-passenger-flight/> (letöltve: 2019. 01. 28.)
- [70] Etihad Airways flies the world's first flight on Salicornia derived fuel from the UAE. *Bioenergy International*, (January 17, 2019.), <https://bioenergyinternational.com/biofuels-oils/etihad-airways-flies-the-worlds-first-flight-on-salicornia-derived-fuel-from-the-uae> (letöltve: 2019. 01. 28.)
- [71] Renewable Fuels, Military. *Honeywell UOP vállalat honlapja*, <https://www.uop.com/wp-content/uploads/2015/06/renewable-fuels-military-green-jet-flights.jpg> (letöltve: 2019. 02. 19.)
- [72] Power-to-Liquids, explained. *Airbus vállalat honlapja*, <https://www.airbus.com/en/newsroom/news/2021-07-power-to-liquids-explained>  
(letöltve: 2023. 05. 10.)
- [73] Sun-To-X: Using solar energy to produce a carbon-free liquid fuel. *Innovation News Network*, (19th April 2023), <https://www.innovationnewsnetwork.com/sun-to-x-creating-carbon-free-liquid-fuel-energy-storage/29755/> (letöltve: 2023. 05. 15.)
- [74] Turning sunlight and CO2 into fuel. *Synhelion vállalat honlapja*, <https://synhelion.com/technology/how-it-works> (letöltve: 2023. 05. 15.)

- [75] Partnerships. *Neste Oyj vállalat honlapja*, <https://www.neste.com/products/partnerships> (letöltve: 2020. 01. 14.)
- [76] Leading Danish companies join forces on an ambitious sustainable fuel project. *Orsted*, (26. 05. 2020.), <https://orsted.com/en/media/newsroom/news/2020/05/485023045545315> (letöltve: 2020. 05. 29.)
- [77] KLM, SkyNRG and SHV Energy announce first European biojet plant project. *Bioenergy International*, (May 27, 2019), <https://bioenergyinternational.com/biofuels-oils/klm-skynerg-and-shv-energy-announce-project-first-european-plant-for-sustainable-aviation-fuel> (letöltve: 2019. 05. 30.)
- [78] Sustainable aviation fuel. *Air bp vállalat honlapja*, <https://www.bp.com/en/global/air-bp/aviation-fuel/sustainable-aviation-fuel.html> (letöltve: 2023. 06. 08.)
- [79] Sustainable Aviation Initiatives In The Spotlight. *Aviation Week*, (December 20, 2019), [https://aviationweek.com/air-transport/sustainable-aviation-initiatives-spotlight?utm\\_rid=CPEN1000002763772&utm\\_campaign=22752&utm\\_medium=email&elq2=49cadb4dd72943afbb7ce80e9bd7df75](https://aviationweek.com/air-transport/sustainable-aviation-initiatives-spotlight?utm_rid=CPEN1000002763772&utm_campaign=22752&utm_medium=email&elq2=49cadb4dd72943afbb7ce80e9bd7df75) (letöltve: 2019. 12. 22.)
- [80] Royal Netherlands Air Force operating F-16 Fighting Falcons on 5% biojet blend. *Bioenergy International*, (January 16, 2019.), <https://bioenergyinternational.com/biofuels-oils/royal-netherlands-air-force-operating-f-16-fighting-falcons-on-5-biojet-blend> (letöltve: 2019. 01. 28.)
- [81] GKN Aerospace to continue biojet fuel testing on Swedish military aircraft. *Bioenergy International*, (June 29, 2020.), <https://bioenergyinternational.com/biofuels-oils/gkn-aerospace-to-continue-biojet-fuel-testing-on-swedish-military-aircraft> (letöltve: 2020. 06. 29.)
- [82] A Net Zero RAF by 2040. *Royal Air Force honlapja*, (23 Nov 2021), <https://www.raf.mod.uk/news/articles/a-net-zero-raf-by-2040/> (letöltve: 2023. 06. 06.)
- [83] Royal Air Force completes world-first sustainable fuel military transporter flight. *Royal Air Force honlapja*, (18 Nov 2022), <https://www.raf.mod.uk/news/articles/royal-air-force-completes-world-first-sustainable-fuel-military-transporter-flight/> (letöltve: 2023. 06. 06.)
- [84] RAF's first use of sustainable aviation fuel in Typhoon and Hercules aircraft. *Air BP honlapja*, (12 January 2023), <https://www.bp.com/en/global/air-bp/news-and-views/press-releases/rafs-first-use-of-sustainable-aviation-fuel-in-typhoon-and-hercules-aircraft.html> (letöltve: 2023. 06. 06.)



- [85] CENTENO, G.: RAF refuels planes in flight with biofuel for the first time. *Aeroflap*, (12 January 2023), <https://www.aeroflap.com.br/en/RAF-refuels-in-flight-planes-with-biofuel-for-the-first-time/> (letöltve: 2023. 06. 07.)
- [86] Hibrid repülőgépmotor. *Energiacentrum*, (2012. május 30.), [www.energiacentrum.com/hibrid-hajtas/hibrid-repulogetmotor/](http://www.energiacentrum.com/hibrid-hajtas/hibrid-repulogetmotor/) (letöltve: 2015. június 29.)
- [87] ROBINSON, T.: How E-Fan X will jump-start a new era in hybrid-electric flight. *Royal Aeronautical Society honlapja*, (1 December 2017.), <https://www.aerosociety.com/news/how-e-fan-x-will-jump-start-a-new-era-in-hybrid-electric-flight/> (letöltve: 2019. 03. 03.)
- [88] The future is electric. *Airbus honlapja*, (17 July 2018.), <https://www.airbus.com/innovation/The-future-is-electric.html> (letöltve: 2019. 03. 03.)
- [89] Airbus, Rolls-Royce, and Siemens team up for electric future. *Siemens honlapja*, November 28, 2017, <https://www.siemens.com/press//pool/de/pressemitteilungen/2017/corporate/PR2017110098COEN.pdf> (letöltve: 2019. 03. 03.)
- [90] VITTADINI, G.: Our decarbonisation journey continues: looking beyond E-Fan X. *Airbus*, (24 April 2020), <https://www.airbus.com/newsroom/stories/our-decarbonisation-journey-continues.html> (letöltve: 2020. 05. 05.)
- [91] E-Fan X. *Airbus honlapja*, [https://airbus-h.assetsadobe2.com/is/image/content/dam/corporate-topics/innovation/e-fan/e-fan-x/EFANX\\_viewpoint-2-HD\\_BSJ\\_20180201.JPG?wid=1280&fit=fit,1&qlt=85,0](https://airbus-h.assetsadobe2.com/is/image/content/dam/corporate-topics/innovation/e-fan/e-fan-x/EFANX_viewpoint-2-HD_BSJ_20180201.JPG?wid=1280&fit=fit,1&qlt=85,0) (letöltve: 2019. 03. 03.)
- [92] *Zunum Aero vállalat honlapja*, <https://zunum.aero/> (letöltve: 2019. 03. 05.)
- [93] Zunum Aero Hybrid Electric Aircraft. *Aerospace Technology*, <https://www.aerospace-technology.com/projects/zunum-aero-hybrid-electric-aircraft/> (letöltve: 2019. 03. 05.)
- [94] GATES, D.: Bothell-based electric-airplane startup Zunum runs out of cash. *The Seattle Times*, (July 9, 2019), <https://www.seattletimes.com/business/boeing-aerospace/local-electric-airplane-startup-zunum-runs-out-of-cash/> (letöltve: 2020. 05. 05.)
- [95] Regional hibrid aircraft. *Zunum Aero vállalat honlapja*, [https://zunum.aero/wp-content/uploads/2017/09/Regional\\_Hybrid\\_Aircraft\\_2-5.jpg](https://zunum.aero/wp-content/uploads/2017/09/Regional_Hybrid_Aircraft_2-5.jpg) (letöltve: 2019. 03. 05.)
- [96] NASA's Helios HP-03 high-altitude drone and its fuel cell. *Catalytic Engineering honlap*, (April 3, 2015), <http://www.catalyticengineering.com/regenerative-pem-fuel-cell-and-high-altitude-drones/> (letöltve: 2016. 04. 29.)

- [97] GALANTE, N.: The Helios Prototype flying wing is shown over the Pacific Ocean during its first test flight on solar power from the U.S. Navy's Pacific Missile Range Facility in Hawaii. *NASA Photo Collection*, <https://www.dfrc.nasa.gov/Gallery/Photo/Helios/HTML/ED01-0209-3.html> (letöltve: 2014. 12. 01.)
- [98] KAVAS L., ÓVÁRI GY., ROZOVICSNÉ FEHÉR K.: Solar Impulse. *Repüléstudományi Közlemények*, XXVII. 1. (2015), 30-40. [http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2015\\_1/2015-1-03-0184-Kavas\\_L-Ovari\\_Gy-R\\_Feher\\_K.pdf](http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2015_1/2015-1-03-0184-Kavas_L-Ovari_Gy-R_Feher_K.pdf) (letöltve: 2015. 04. 20.)
- [99] Solar Impulse 2 used Kokam Ultra High Energy NMC batteries in round-the-world solar flight. *Green Car Congress*, 17 August 2016, <https://www.greencarcongress.com/2016/08/20160817-kokam.html> (letöltve: 2017. 03. 06.)
- [100] Zephyr S High-Altitude Pseudo-Satellite (HAPS). *Air Force Technology honlap*, <https://www.airforce-technology.com/projects/zephyr-s-high-altitude-pseudo-satellite-haps/> (letöltve: 2019. 03. 04.)
- [101] *Silent Falcon UAV honlapja*, <http://www.silentfalconuas.com/> (letöltve: 2019. 03. 06.)
- [102] Silent Falcon UAV. *Silent Falcon UAV honlapja*, [https://daks2k3a4ib2z.cloudfront.net/570bd612727410dd49f98447/57225f302fe7ec4c63f88701\\_IMG\\_0138%20solar%20panels.jpg](https://daks2k3a4ib2z.cloudfront.net/570bd612727410dd49f98447/57225f302fe7ec4c63f88701_IMG_0138%20solar%20panels.jpg) (letöltve: 2019. 03. 06.)
- [103] ANDÚJAR, J. M., SEGURA, F.: Fuel Cells: History and Updating. A walk along two centuries. *Renewable and Sustainable Reviews*, 13 9 (2009), 2309-2322, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032109001336> (letöltve: 2015. 10. 08.)
- [104] Üzemanyagcella. *Alternatív energia – energia alternatívák*, <https://www.alternativenergia.net/sites/default/files/images/uzemanyagcella.jpg> (letöltve: 2016. 04. 15.)
- [105] KÓFALUSI P., ANTAL Á., et al.: *Járműfedélzeti elektronika*. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, (2014.) [http://www.mogi.bme.hu/TAMOP/jarmufedelzeti\\_elektronika/ch09.html](http://www.mogi.bme.hu/TAMOP/jarmufedelzeti_elektronika/ch09.html) (letöltve: 2019. 03. 10.)
- [106] MEHTA, V., SMITH COOPER, J.: Review and analysis of PEM fuel cell design and manufacturing. *Journal of Power Sources*. 114 (2003), 32-53,

- <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775302005426> (letöltve: 2016. 04. 18.)
- [107] Types of Fuel Cells. *Fuel Cell Technologies Office of US Department of Energy honlap*, <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/types-fuel-cells> (letöltve: 2019. 03. 11.)
- [108] OLÁH, GY., ÁNISZFELD R.: Új generációjú üzemanyagcellák. *Magyar Tudomány*, 12 (2002) 1564, <http://www.matud.iif.hu/02dec/olah.html> (letöltve: 2014. 11. 26.)
- [109] KOEHLER, T.: A green machine. *Boeing Frontiers*, May 2008 [http://www.boeing.com/news/frontiers/archive/2008/may/ts\\_sf04.pdf](http://www.boeing.com/news/frontiers/archive/2008/may/ts_sf04.pdf) (letöltve: 2015. 10. 19.)
- [110] Diamond HK36 Super Dimona. *Boeing Frontiers*, [https://www.boeing.com/news/frontiers/archive/2003/august/photos/aug\\_atw\\_lg.jpg](https://www.boeing.com/news/frontiers/archive/2003/august/photos/aug_atw_lg.jpg) (letöltve: 2019. 03. 15.)
- [111] ENviromentally Friendly Inter City Aircraft powered by Fuel Cells. *ENFICA-FC projekt honlapja*, <http://www.enfica-fc.polito.it/Presentation> (letöltve: 2016. 04. 27.)
- [112] World records for EU-funded fuel cell-powered aircraft. *European Comission Research & Innovation honlapja*, (20. 02. 2012.), [http://ec.europa.eu/research/transport/projects/items/world\\_records\\_for\\_eu\\_funded\\_fuel\\_cell\\_powered\\_aircraft\\_en.htm](http://ec.europa.eu/research/transport/projects/items/world_records_for_eu_funded_fuel_cell_powered_aircraft_en.htm) (letöltve: 2016. 04. 18.)
- [113] ENFICA-FC Rapid 200FC. *EVHangar honlapja*, <https://www.evhangar.com/aircraft/poc-aircraft/enfica-fc-rapid-200fc/> (letöltve: 2016. 04. 27.)
- [114] Entwicklung für die forschung – Forschung für die entwicklung. *Lange Aviation honlapja*, <http://www.lange-aviation.com/de/produkte/andere-produkte/forschungsflugzeuge/> (letöltve: 2016. 04. 20.)
- [115] Antares DLR-H2: Weltweit erstes pilotengesteuertes *Flugzeug mit Brennstoffzellenantrieb*. DLR honlapja, [https://www.dlr.de/tt/en/desktopdefault.aspx/tabid-4935/8219\\_read-13587/](https://www.dlr.de/tt/en/desktopdefault.aspx/tabid-4935/8219_read-13587/) (letöltve: 2016. 04. 20.)
- [116] Antares DLR-H2. *Lange Aviation honlapja*, <http://www.lange-aviation.com/service/galerie/> (letöltve: 2016. 04. 20.)
- [117] Antares H3 – Aircraft with modular fuel cell drive. *NOW GmbH honlapja*, <https://www.now-gmbh.de/en/national-innovation-programme/projektfinder/verkehr/antares-h3> (letöltve: 2019. 03. 16.)

- [118] Antares E2. *Lange Research honlapja*, <https://www.lange-research.com/> (letöltve: 2019. 03. 16.)
- [119] HY 4 – Zero-emission passenger flights. *DLR Portal*, (26 November 2015.), [http://www.dlr.de/tt/en/desktopdefault.aspx/tabid-10743/19267\\_read-44808/](http://www.dlr.de/tt/en/desktopdefault.aspx/tabid-10743/19267_read-44808/) (letöltve: 2016. 01. 29.)
- [120] Zero-emission passenger flights: DLR presents project for HY4 four-passanger fuel cell aircraft. *DLR Portal*, (12 October 2015.), [http://www.dlr.de/dlr/en/desktopdefault.aspx/tabid-10081/151\\_read-15429/#/gallery/20919](http://www.dlr.de/dlr/en/desktopdefault.aspx/tabid-10081/151_read-15429/#/gallery/20919) (letöltve: 2015. 11. 26.)
- [121] Zero-emission air transport – first flight of four-seat passenger aircraft HY4. *HY4 projekt honlapja*, (September 29, 2016.), <http://hy4.org/zero-emission-air-transport-first-flight-of-four-seat-passenger-aircraft-hy4> (letöltve: 2019. 03. 17.)
- [122] Technic facts. *H2FLY honlapja*, <http://h2fly.de/wp-content/uploads/2015/12/technic-facts-1000x288.png> (letöltve: 2016. 04. 27.)
- [123] Ion Tiger UAV, United States of America. *Naval Technology honlapja*, <http://www.naval-technology.com/projects/ion-tiger-uav/> (letöltve: 2016.04.19)
- [124] SWIDER-LIONS, K., STROMAN, R. O., et al.: The Ion Tiger Fuel Cell Unmanned Air Vehicle. *ResearchGate*, (January 2010), [https://www.researchgate.net/publication/264543084\\_The\\_Ion\\_Tiger\\_Fuel\\_Cell\\_Unmanned\\_Air\\_Vehicle](https://www.researchgate.net/publication/264543084_The_Ion_Tiger_Fuel_Cell_Unmanned_Air_Vehicle) (letöltve: 2019. 03. 17.)
- [125] *Bye Aerospace vállalat honlapja*, <https://www.byeaerospace.com/> (letöltve: 2019. 03. 19.)
- [126] SIGLER, D.: Sun Flyer 2 to be Powered by Siemens Motor. *Sustainable Skies*, (06/06/2018.), <http://sustainableskies.org/sun-flyer-2-to-be-powered-by-siemens-motor/> (letöltve: 2019. 03. 19.)
- [127] EPS Providing Electric Batteries for Bye Aerospace “Sun Flyer”. *Electric Power Systems honlapja*, (March 20, 2018), <http://ep-sys.net/wp-content/uploads/2018/03/Bye-Aerospace-EPS-Press-Release.pdf> (letöltve: 2019. 03. 19.)
- [128] COBB, J. A.: Four seat Sun Flyer in the works. *AOPA honlapja*, (July 23, 2017), <https://www.aopa.org/news-and-media/all-news/2017/july/24/four-seat-sun-flyer-in-the-works> (letöltve: 2019. 03. 19.)
- [129] *Magnus Aircraft Zrt. honlapja*, <https://www.magnusaircraft.com/hu> (letöltve: 2019. 03. 23.)

- [130] Elektromosok kötelékben: repül a második eFusion. *Indóház online*, (2017.9.28), <http://iho.hu/hir/elektromosok-kotelekben-repul-a-masodik-efusion-170928> (letöltve: 2019. 03. 23.)
- [131] Magnus eFusion Light Sport Aircraft. *Aerospace Technology*, <https://www.aerospace-technology.com/projects/magnus-efusion-light-sport-aircraft/> (letöltve: 2019. 03. 23.)
- [132] eFusion (gyári illusztráció). *Magnus Aircraft Zrt. honlapja*, [https://www.magnusaircraft.com/fusion\\_ul/kezdolap.php](https://www.magnusaircraft.com/fusion_ul/kezdolap.php) (letöltve: 2023. 04. 26.)
- [133] Airbus E-Fan. *All-Aero honlapja*, <http://all-aero.com/index.php/44-planes-a-b-c/16601-airbus-e-fan> (letöltve: 2019. 03. 24.)
- [134] MCKEEGAN, N.: AeroViroment's hibrid fuel cell UAV sets flight record. *Gizmag*, (March 6., 2008.), <http://www.gizmag.com/aerovironment-puma-hybrid-fuel-cell-uav-flight-record/8948/> (letöltve: 2016. 05. 02.)
- [135] UAS: RQ-20B Puma™ AE. *AeroViroment honlapja*, <https://www.avinc.com/uas/view/puma> (letöltve: 2019. 03. 24.)
- [136] MCKEEGAN, N.: Project Firefly: Sikorsky unveils electric helicopter technology demonstrator. *New Atlas*, (August 10th, 2010), <https://newatlas.com/sikorsky-project-firefly/15993/> (letöltve: 2019. 03. 25.)
- [137] ZART, N.: Electric Helicopters Are Coming — New Guinness World Record For Farthest Flight. *Clean Technica*, (January 26th, 2019), <https://cleantechnica.com/2019/01/26/electric-helicopters-are-coming-new-guinness-world-record-for-farthest-flight/> (letöltve: 2019. 03. 25.)
- [138] *Tier Engineering honlapja*, <http://www.tier1engineering.com/news> (letöltve: 2019. 03. 25.)
- [139] VARGA, S.: Volocopter pilóta nélküli légi taxi első utasa a világon az Intel vezére volt. *Repülni jó*, (2018-01-10), <http://www.repulnijo.hu/volocopter-pilota-nelkuli-legi-taxi-also-utasa/> (letöltve: 2019. 03. 25.)
- [140] *Volocopter GmbH honlap*, <https://www.volocopter.com/en/> (letöltve: 2019. 03. 25.)
- [141] Volocopter VC200. *Electric VTOL News*, <http://evtol.news/aircraft/volocopter/> (letöltve: 2019. 03. 25.)
- [142] BU-808: How to Prolong Lithium-based Batteries. *Battery University*, [https://batteryuniversity.com/learn/article/how\\_to\\_prolong\\_lithium\\_based\\_batteries](https://batteryuniversity.com/learn/article/how_to_prolong_lithium_based_batteries) (letöltve: 2019. 03. 27.)

- [143] BU-304a: Safety Concerns with Li-ion. *Battery University*, [https://batteryuniversity.com/learn/article/safety\\_concerns\\_with\\_li\\_ion](https://batteryuniversity.com/learn/article/safety_concerns_with_li_ion) (letöltve: 2019. 03. 27.)
- [144] NATIONAL TRANSPORTATION SAFETY BOARD: The heavily burned battery from JA829J after it suffered thermal runaway. *Wikipedia*, (11 January 2013), [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:1-7-12\\_JAL787\\_APU\\_Battery.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:1-7-12_JAL787_APU_Battery.JPG) (letöltve: 2019. 03. 27.)
- [145] Bosch cooperates with BMW and Vattenfall on a second life electric vehicles batteries project. *WattStorage*, (27 janvier 2015), <http://wattstorage.canalblog.com/archives/2015/01/27/31413474.html> (letöltve: 2019. 03. 28.)
- [146] JIAO, N.: Second-life Electric Vehicle Batteries 2019-2029. *IDTechEx*, (August 2018), <https://www.idtechex.com/research/reports/second-life-electric-vehicle-batteries-2019-2029-000626.asp> (letöltve: 2019. 03. 28.)
- [147] Hydrogen-powered aviation. A fact-based study of hydrogen technology, economics, and climate impact by 2050. *Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking*, (May 2020), [https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/FCH%20Docs/20200507\\_Hydrogen%20Powered%20Aviation%20report\\_FINAL%20web%20%28ID%208706035%29.pdf](https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/FCH%20Docs/20200507_Hydrogen%20Powered%20Aviation%20report_FINAL%20web%20%28ID%208706035%29.pdf) (letöltve: 2020. 10. 31.)
- [148] Blue, green, gray: the colors of hydrogen. *Chem.4.us*, <http://www.chem4us.be/blue-green-gray-the-colors-of-hydrogen/> (letöltve: 2022. 01. 31.)
- [149] *Bükkábrányi Energiapark honlapja*, <https://bukkabranyienergiapark.hu/> (letöltve: 2023. 05. 19.)
- [150] Vámos S.: A power to gas technológia összefoglalása. *Wikipédia*, (4 October 2019), [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:P2G\\_%C3%B6sszefoglal%C3%A1s.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:P2G_%C3%B6sszefoglal%C3%A1s.png) (letöltve: 2023. 05. 19.)
- [151] Újabb lépés az energiafüggetlenség felé: zöld hidrogén gyártásába kezd a MOL. *MOLGROUP honlapja*, (26 Apr 2022), <https://molgroup.info/hu/media-kozpont/sajtokozlemenye/ujabb-lepes-az-energiafuggetlenseg-fele-zold-hidrogen-gyartasaba-kezd-a-mol> (letöltve: 2023. 05. 22.)
- [152] Holland Hydrogen I. *NS Energy*, <https://www.nsenegybusiness.com/projects/holland-hydrogen-i/> (letöltve: 2023. 05. 22.)

- [153] TAMBURELLI, L.: The Tupolev which flew on hydrogen 32 years ago. *Private jets blog*, (September 27, 2020.), <http://blog.privatejetfinder.com/tu-155-hydrogen/> (letöltve: 2021. 01. 18.)
- [154] FLOTTAU, J.: Airbus Presents Three Hydrogen-Powered Aircraft Concepts. *Aviation Week Network*, (September 20, 2020), <https://aviationweek.com/aerospace/airbus-presents-three-hydrogen-powered-aircraft-concepts?elq2=a279924dedcd47718b52c2143230%E2%80%A6> (letöltve: 2020. 10. 01.)
- [155] Hydrogen in aviation: how close is it? Understanding the challenges to widespread hydrogen adoption. *Airbus honlap*, (08 October 2020), <https://www.airbus.com/newsroom/stories/hydrogen-aviation-understanding-challenges-to-widespread-adoption.html> (letöltve: 2020. 11. 05.)
- [156] CHUANREN, C.: Airbus Begins Green Hydrogen Partnership With Australian Group. *Aviation Week*, (March 08, 2022), <https://aviationweek.com/air-transport/aircraft-propulsion/airbus-begins-green-hydrogen-partnership-australian-group> (letöltve: 2022. 03. 15.)
- [157] World's first hydrogen powered commercial plane takes off from Cranfield. *The Engineer honlap*, (25th September 2020), <https://www.theengineer.co.uk/worlds-first-hydrogen-powered-commercial-plane/> (letöltve: 2020. 11. 05.)
- [158] Rolls-Royce and easyJet set new world first. *Rolls-Royce vállalat honlapja*, (Monday, 28 November 2022), <https://www.rolls-royce.com/media/press-releases/2022/28-11-2022-rr-and-easyjet-set-new-aviation-world-first-with-successful-hydrogen-engine-run> (letöltve: 2023. 05. 25.)
- [159] BARTHOLY J., BREUER H., et al.: *Megújuló energiaforrások*. Budapest: Eötvös Lóránd Tudományegyetem, 2013. [www.elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/MegujuloEnergiaforrasok/book.pdf](http://www.elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/MegujuloEnergiaforrasok/book.pdf) (letöltve: 2019. 03. 20.)
- [160] Szélerőgép vázlata. *Sulinet*, <https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/szakkepzes/mezogazdasag/muszaki-alapismeretek/szelenergia/a-szelerogepek-mukodese> (letöltve: 2019. 05. 23.)
- [161] How clean is European power generation? *BioEnergy International*, (May 13, 2019), <https://bioenergyinternational.com/heat-power/how-clean-is-european-power-generation> (letöltve: 2019. 05. 16.)
- [162] KÁLÓCZY M.: Globális energiaküzdelem – ki bírja tovább? 3. Megújuló energiaforrások – eljött a várva-várt áttörés? *Antall József Tudásközpont*, (2017-03-21),

- <http://www.ajtk.hu/kutato-i-blog/42/globalis-energiakuzdelem-%E2%80%93-ki-birja-tovabb?--/> (letöltve: 2019. 05. 22.)
- [163] Primary energy consumption by fuel, EU-28. *European Environment Agency*, (21 Dec 2018), [https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/primary-energy-consumption-by-fuel-5#tab-chart\\_1](https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/primary-energy-consumption-by-fuel-5#tab-chart_1) (letöltve: 2019. 05. 22.)
- [164] 3.1.2. Energia (2006–2017). *Központi Statisztikai Hivatal*, [http://www.ksh.hu/thm/3/indi3\\_1\\_2.html](http://www.ksh.hu/thm/3/indi3_1_2.html) (letöltve: 2019. 05. 22.)
- [165] Szélenergia Magyarországon. *Magyar Szélenergia Ipari Társaság*, <http://www.mszt.hu/dokumentumok/szeleromuvek-magyarorszagon/> (letöltve: 2019. 05. 23.)
- [166] KUJBUS A.: A geotermikus hőtartalom maximális hasznosításának lehetőségei hazai és nemzetközi példák alapján. *Magyar Geotermikus Szakmai Kollégium*, (2012. 02. 17.), [http://geotermia.lapunk.hu/tarhely/geotermia/dokumentumok/kujbusattila\\_eloadasa\\_2012\\_0217.pdf](http://geotermia.lapunk.hu/tarhely/geotermia/dokumentumok/kujbusattila_eloadasa_2012_0217.pdf) (letöltve: 2019. 05. 25.)
- [167] Szolár segédletek. *Magyar Napelem Napkollektor Szövetség honlapja*, <https://www.mnnsz.hu/szolar-segedletek/napsugarzas-napfenytartam-es-felhozet-magyarorszagon/> (letöltve: 2019. 05. 17.)
- [168] Rekordot döntött Magyarország új naperőműve. *Portfolio*, (2018. november 23.), [https://www.portfolio.hu/vallalatok/energia/rekordot-dontott-magyarorszag-uj-naperomuve.305475.html?utm\\_source=projectagora&utm\\_medium=contentdiscovery](https://www.portfolio.hu/vallalatok/energia/rekordot-dontott-magyarorszag-uj-naperomuve.305475.html?utm_source=projectagora&utm_medium=contentdiscovery) (letöltve: 2018. 12. 03.)
- [169] Átadták az ország legnagyobb naperőművét. *Infostart*, (2019. március 5.), [https://infostart.hu/gazdasag/2019/03/05/atadtak-az-orszag-egyik-legnagyobb-naperomuvet?utm\\_source=infostart&utm\\_medium=email&utm\\_campaign=hirlevel](https://infostart.hu/gazdasag/2019/03/05/atadtak-az-orszag-egyik-legnagyobb-naperomuvet?utm_source=infostart&utm_medium=email&utm_campaign=hirlevel) (letöltve: 2019. 03. 06.)
- [170] Már működik az Alteo monori naperőműve. *Világgazdaság*, (2018. 11. 29.), <https://www.vg.hu/vallalatok/energia/mar-mukodik-az-alteo-monori-naperomuve-1227796/> (letöltve: 2019. 05. 17.)
- [171] Solar Carport naperőmű kiépítése a Szolnoki Főiskola parkolójának területén. *E-on honlapja*, <https://www.eon.hu/hu/kozisgazatasi/termekek/naperomu-letesites.html> (letöltve: 2019. 05. 28.)
- [172] ICAO: 2013 Environment Report. *ICAO honlap*, <https://cfapp.icao.int/environmental-report-2013/files/assets/basic-html/index.html#1> (letöltve: 2017. 01. 10.)



- [173] *TaxiBot International honlapja*, <https://www.taxibot-international.com/> (letöltve: 2015. 02. 15.)
- [174] TaxiBot Sets a New Record - Taxiing a Fully-Loaded Airbus 320 at a speed of Twenty Three Knots. *TaxiBot International honlapja*, <https://www.taxibot-international.com/news-cfon/i05k9j9d39/TaxiBot-Sets-a-New-Record-Taxiing-a-FullyLoaded-Airbus-320-at-a-speed-of-Twenty-Three-Knots> (letöltve: 2019. 05. 13.)
- [175] THAPLIYAL, S.: IGI Airport all set to operationalise TaxiBot. *The Asian Age*, (Jul 20, 2018), <https://www.asianage.com/metros/delhi/200718/igi-airport-all-set-to-operationalise-taxibot.html> (letöltve: 2019. 05. 14.)
- [176] JOHNSON, T. F.: Electric Green Taxiing System (EGTS) for Aircraft. *IEEE Transportation Electrification Community*, (April 2014), <https://tec.ieee.org/newsletter/march-april-2014/electric-green-taxiing-system-egts-for-aircraft> (letöltve: 2019. 05. 14.)
- [177] DUBOIS, T.: WheelTug, Safran-Honeywell and IAI Offer Three Rival Solutions for Airline Engine-off Taxiing. *AINonline*, (February 11, 2014), <https://www.ainonline.com/aviation-news/air-transport/2014-02-11/wheeltug-safran-honeywell-and-iai-offer-three-rival-solutions-airline-engine-taxiing> (letöltve: 2019. 05. 14.)
- [178] CAREY, B.: Honeywell, Safran Demo Electric Taxiing System For Airlines. *AINonline*, (June 18, 2013), <https://www.ainonline.com/aviation-news/air-transport/2013-06-18/honeywell-safran-demo-electric-taxiing-system-airlines> (letöltve: 2019. 05. 14.)
- [179] WheelTug. *Aeroweb-fr.net*, <http://www.aeroweb-fr.net/medias/wheeltug-4> (letöltve: 2015. 11. 20.)
- [180] *Mototok International GmbH vállalat honlapja*, <https://www.mototok.com/> (letöltve: 2019. 05. 15.)
- [181] Éghajlatvédelem. *Budapest Airport honlapja*, [https://www.bud.hu/budapest\\_airport/felelossegvallalas/kornyezetvedelmi\\_felelossegvallalas/eghajlatvedelem](https://www.bud.hu/budapest_airport/felelossegvallalas/kornyezetvedelmi_felelossegvallalas/eghajlatvedelem) (letöltve: 2021. 11. 01.)
- [182] The world's most environmentally friendly airports. *Airport Technology*, (26 April 2018), <https://www.airport-technology.com/features/worlds-environmentally-friendly-airports/> (letöltve: 2019. 05. 16.)
- [183] HOUSTON, S.: 6 Eco-Friendly Airports. *The Balance Career*, (January 14, 2019), <https://www.thebalancecareers.com/eco-friendly-airports-282729> (letöltve: 2019. 05. 16.)

- [184] Budapesté az első „karbon-semleges” repülőtér Közép-Kelet Európában! *Bud Flyer*, (2018/04/23), [https://budflyer.blog.hu/2018/04/23/budapeste\\_az\\_elso\\_karbon-semleges\\_repuloter\\_kozep-kelet\\_europaban](https://budflyer.blog.hu/2018/04/23/budapeste_az_elso_karbon-semleges_repuloter_kozep-kelet_europaban) (letöltve: 2019. 05. 10.)
- [185] Továbbra is Budapest az egyetlen karbonsemleges repülőtér a régióban! *Budapest Airport*, (2019. 01. 14.), [https://www.bud.hu/budapest\\_airport/media/hirek/aktualis\\_sajtokozlomenyek/tovabbra\\_is\\_budapest\\_az\\_egyetlen\\_karbonsemleges\\_repuloter\\_a\\_regioban.html](https://www.bud.hu/budapest_airport/media/hirek/aktualis_sajtokozlomenyek/tovabbra_is_budapest_az_egyetlen_karbonsemleges_repuloter_a_regioban.html) (letöltve: 2019. 05. 10.)
- [186] Budapest Airport Green Partner Program - Tegyük együtt egy zöldebb jövőért! *Budapest Airport*, <https://www.bud.hu/greenairport> (letöltve: 2019. 05. 10.)
- [187] Innovatív és fontos fenntarthatósági kezdeményezéseket fejleszthet ki a Budapest Airport a STARGATE projekt részeként. *Budapest Airport honlapja*, (2021.09.21.), [https://www.bud.hu/budapest\\_airport/media/hirek/aktualis\\_sajtokozlomenyek/innovativ\\_es\\_fontos\\_fenntarthatosagi\\_kezdemenyezeseket\\_fejleszthet\\_ki\\_a\\_budapest\\_airport\\_a\\_stargate\\_projekt\\_reszekent.html](https://www.bud.hu/budapest_airport/media/hirek/aktualis_sajtokozlomenyek/innovativ_es_fontos_fenntarthatosagi_kezdemenyezeseket_fejleszthet_ki_a_budapest_airport_a_stargate_projekt_reszekent.html) (letöltve: 2021. 11. 01.)
- [188] Nellis Air Force Base Builds Largest Solar Photovoltaic Power Plant in North America with SunPower. *SunPower vállalat honlapja*, <https://us.sunpower.com/sites/default/files/media-library/case-studies/cs-nellis-air-force-base-builds-largest-solar-photovoltaic-power-plant-north-america-sunpower.pdf> (letöltve: 2022. 04. 18.)
- [189] Nellis AFB Solar panels. *Wikipédia*, (30 July 2007), [https://en.wikipedia.org/wiki/Nellis\\_Solar\\_Power\\_Plant#/media/File:Nellis\\_AFB\\_Solar\\_panels.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Nellis_Solar_Power_Plant#/media/File:Nellis_AFB_Solar_panels.jpg) (letöltve: 2022. 04. 18.)
- [190] ELLIOTT, K.: AF's largest solar array celebrates first anniversary. *Official United States Air Force Website*, (Dec. 18, 2014), <https://www.af.mil/News/Article-Display/Article/558474/afs-largest-solar-array-celebrates-first-anniversary/> (letöltve: 2022. 04. 18.)
- [191] Vandenberg AFB unveils solar array project. *Official United States Air Force Website*, (April 11, 2018), <https://www.af.mil/News/Article-Display/Article/1490853/vandenberg-afb-unveils-solar-array-project/> (letöltve: 2022. 04. 18.)
- [192] Fotovoltaikus kiserőművek telepítése 3 helyszínen. *Közbeszerzési Hatóság honlapja*, [https://www.kozbeszerzes.hu/ertesito/2020/0/targy/portal\\_434/megtekint/portal\\_12007\\_2\\_020/](https://www.kozbeszerzes.hu/ertesito/2020/0/targy/portal_434/megtekint/portal_12007_2_020/) (letöltve: 2022. 05. 05.)

- [193] Napelemes kiserőművet létesítettek a győri laktanyában. *Magyar Napelem Napkollektor Szövetség*, (2021. november 24.), <https://www.mnnsz.hu/napelemes-kiseromuvet-letesitettek-a-gyori-laktanyaban/> (letöltve: 2022. 05. 05.)
- [194] KEHOP pályázatok. *HM Védelemgazdaság Hivatal honlapja*, <https://hm.vedelemgazdasagihivatal.kormany.hu/kehop-palyazatok> (letöltve: 2022. 05.05.)
- [195] NYULAS, SZ.: Naperőművet kapott a tatai laktanya. *Honvédelem.hu*, (2013. december 13.), <https://honvedelem.hu/hirek/hazai-hirek/naperomuvet-kapott-a-tatai-laktanya.html> (letöltve: 2022. 05. 06.)
- [196] Magyarország legnagyobb hőszivattyús földhőszondás rendszere - Pápa Bázisrepülőtér (NATO). *HGD Kft. honlapja*, (2018.), <https://www.hgd.hu/hu/referenciak/magyarorszag-legnagyobb-hoszivattyus-foldhoszondas-rendszere-papa-bazisrepuloter-nato> (letöltve: 2022. 05. 05.)
- [197] European Green Deal: Commission proposes to boost renovation and decarbonisation of buildings. *European Commission*, (15 December 2021), [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP\\_21\\_6683](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_21_6683) (letöltve: 2022. 05. 02.)
- [198] Magyarország szén-dioxid kibocsátása ágazonként. *Our World in Data*, <https://ourworldindata.org/search?q=CO2++emission+hungary+by+sectors> (letöltve: 2022. 05. 02.)
- [199] Nemzeti Épületenergetikai Stratégia. *Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal*, (2015. február), [https://static1.squarespace.com/static/5d63affc1ac7d1000158fdb0/t/5e4d4c8eec4db52fb29ee5ef/1582124193558/nemzeti\\_epuletenergetikai\\_strategia\\_150225.pdf](https://static1.squarespace.com/static/5d63affc1ac7d1000158fdb0/t/5e4d4c8eec4db52fb29ee5ef/1582124193558/nemzeti_epuletenergetikai_strategia_150225.pdf) (letöltve: 2022. 05. 02.)
- [200] VAJDA, M.: Kőzetgyapot vs hungarocell: Melyik a jobb szigetelő anyag? *Házvadászok*, (december 4, 2020), <https://hazvadaszok.hu/kozetgyapot-vs-hungarocell-melyik-a-jobb-szigetelo-anyag/> (letöltve: 2022. 08. 14.)
- [201] Cemix hőszigetelés kalkulátor. *Cemix honlap*, <https://www.cemix.hu/kalkulatorok/hoszigeteles> (letöltve: 2022. 08. 14.)
- [202] 6 légkamrás tokprofil 5 légkamrás szárnyprofillal. *Tisza Ajtó Kft. honlapja*, <https://www.ablakep.hu/muanyag-ablak-kisokos/> (letöltve: 2022. 08. 14.)

- [203] Honvédelmi Minisztérium épületeinek energetikai fejlesztése. *BMSK Sport Közhasznú Nonprofit Kft. honlapja*, <https://www.bmsksport.hu/portfolio-item/honvedelmi-miniszterium-epuleteinek-energetikai-fejlesztese/> (letöltve: 2022. 08. 14.)
- [204] A Bizottság (EU) 2015/1428 rendelete. *Eur-Lex - Az Európai Unió Hivatalos lapja*, (2015. augusztus 25.), <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015R1428&qid=1561309254744&from=HU> (letöltve: 2019. 06. 23.)
- [205] ARATÓ A., BORSÁNYI J., KLINGER GY., et al.: *Innovatív világítás*. Budapest: Óbudai Egyetem, (2013), jegyzetszám: OE-KVK 2018, [http://www.uni-obuda.hu/users/molnarka/Jegyzetek/Innovativ\\_Vilagitas\\_jegyzet\\_2013\\_v0.pdf](http://www.uni-obuda.hu/users/molnarka/Jegyzetek/Innovativ_Vilagitas_jegyzet_2013_v0.pdf) (letöltve: 2019. 06. 20.)
- [206] Szeptembertől nem gyártanak halogén izzókat. *Piac & Profit*, (2018. szeptember 21.), <https://piacesprofit.hu/klimablog/szeptembertol-nem-gyartanak-halogen-izzokat/> (letöltve: 2019. 06. 23.)
- [207] *Flight Lights Inc. honlapja*, [https://flightlight.com/airfield-products/?gclid=EA1aIQobChMIqdG\\_su334gIVZijTCh2zVwS8EAAYASAAEgKYkvD\\_BwE](https://flightlight.com/airfield-products/?gclid=EA1aIQobChMIqdG_su334gIVZijTCh2zVwS8EAAYASAAEgKYkvD_BwE) (letöltve: 2021. 08. 29.)
- [208] Military airfield lightning. *Flash Technology vállalat honlapja*, <https://www.flashtechology.com/military-airfield-lighting-system/> (letöltve: 2022. 08. 22.)
- [209] A704-es jelű futópálya szegélyfény. *Flash Technology vállalat honlapja*, <https://www.flashtechology.com/wp-content/uploads/2019/06/A704-compact-military-grey-538px.jpg> (letöltve: 2022. 08. 22.)
- [210] Mobil repülőtéri világítási rendszer hordozó trélere. *Flash Technology vállalat honlapja*, <https://www.flashtechology.com/wp-content/uploads/2021/01/PALT-grey-538px.jpg> (letöltve: 2022. 08. 22.)
- [211] Napelemes rendszer típusok működés szerint. *Wagner Solar vállalat honlapja*, 2021.07.26., <https://wagnersolar.hu/napelemes-rendszer-tipusok-mukodes-szerint/> (letöltve: 2022. 08. 23.)
- [212] Napkollektoros rendszerek felépítése és felhasználási területeik. *HIDRO-GEODRILLING Geotermikus Energiát Hasznosító Kft.*, <https://hgd.hu/hu/felepites-es-felhasznalasi-teruletek> (letöltve: 2022. 08. 23.)
- [213] KPA Unicon to supply 30 MW biomass heat plant to Stockholm Arlanda Airport. *Bioenergy International*, (February 4, 2020), <https://bioenergyinternational.com/heat->

- [power/kpa-unicon-to-supply-30-mw-biomass-heat-plant-to-stockholm-arlanda-airport](#)  
(letöltve: 2020. 04. 20.)
- [214] Napkollektoros rendszerek csővezetékeinek hőszigetelése. *Naplopó Kft. honlapja*, (2021. január 12.), <https://www.naplopo.hu/tudastar/szakcikkeink-hasznos-irasaink/napelemes-aramtermeles-3/hoszigeteles> (letöltve: 2022. 08. 23.)
- [215] Napelemes kalkulátor. *MVM Optimum Zrt. honlapja*, <https://mvm-opti.ezzing.com/commercial/precalculation> (letöltve: 2023. 06. 15.)
- [216] Concept. *Taxibot honlapja*, <https://taxibot-international.com/concept/> (letöltve: 2023. 10. 30.)
- [217] A cégek és termékek karbonlábnyoma. *Soltub honlapja*, <http://www.soltub.hu/karbonlabnyom/fig/Karbonlabnyom.pdf> (letöltve: 2023. 10. 09.)
- [218] GHG Protocol. About Us. *Greenhouse Gas Protocol honlapja*, <https://ghgprotocol.org/about-us> (letöltve: 2023. 10. 15.)
- [219] Greenhouse Gas Emissions Calculator. *United Nations Framework Convention on Climate Change*, (29 Mar 2021), [https://unfccc.int/documents/271269?gclid=EAIAIQobChMI9oHE84bYgQMVGTKGAB3raghPEAAYAyAAEgKtR\\_D\\_BwE](https://unfccc.int/documents/271269?gclid=EAIAIQobChMI9oHE84bYgQMVGTKGAB3raghPEAAYAyAAEgKtR_D_BwE) (letöltve: 2023. 10. 15.)
- [220] Magyar Légierő. *Wikipédia*, [https://hu.wikipedia.org/wiki/Magyar\\_L%C3%A9gier%C5%91](https://hu.wikipedia.org/wiki/Magyar_L%C3%A9gier%C5%91) (letöltve: 2023. 11. 10.)
- [221] State of the Industry Report on Air Quality Emissions from Sustainable Alternative Jet Fuels (2018). Washington, DC: The National Academies Press, 2018., ISBN 978-0-309-47524-2, <https://nap.nationalacademies.org/catalog/25095/state-of-the-industry-report-on-air-quality-emissions-from-sustainable-alternative-jet-fuels> (letöltve: 2023. 11. 09.)
- [222] Facts and Figures. *ICAO*, <https://www.icao.int/environmental-protection/GFAAF/Pages/Facts-Figures.aspx> (letöltve: 2020. 04. 01.)

## ÁBRÁK JEGYZÉKE

1. ábra Szén-dioxid koncentráció növekedése a légkörben [2]
2. ábra CO<sub>2</sub> kibocsátás mértéke fosszilis üzemanyagok elégetése során (2011-es adat) [3]
3. ábra Egy 150 személyes kéthajtóműves utasszállító repülőgép korszerű hajtóművének (pl. B-737, A-320) átlagos üzemanyag és levegőfogyasztása, valamint gázkibocsátásának összetevői 1 óra alatt [FOCA]
4. ábra A légiközlekedésből származó szén-dioxid kibocsátás előrejelzése [11]
5. ábra Földünk jelenleg ismert kőolaj tartalékai [25]
6. ábra Kitermelhető kőolaj mennyiség előrejelzés [26]
7. ábra WTI nyersolaj árak 10 éves időtartamban ábrázolva [27]
8. ábra Hagyományos és GTL tüzelőanyag égése [37]
9. ábra A repülésben alkalmazható biotüzelőanyagok alapanyagai és előállítási lehetőségei [40]
10. ábra A Fischer-Tropsch eljárás működési vázlata [42]
11. ábra A transzészterezés folyamata (R1, R2, R3 szénhidrogén csoportokat jelölnek) [43]
- 12.a ábra A Direct Air Capture látványterve [49]
- 12.b ábra A Direct Air Capture működési vázlata [50]
13. ábra Alga termesztés kültéri medencékben Törökországban [56]
14. ábra Black Hawk helikopter 50%-os ATJ keverékkel repül [64]
15. ábra Szén-dioxid kibocsátások jóslott görbéi a különböző mértékű fejlesztések, technológiák bevezetésével. [39]
16. ábra Hagyományos tüzelőanyag (balra) és SAF (jobbra) szén-dioxid kibocsátása életciklusa során [39]
17. ábra PTL tüzelőanyag előállítása [72]
18. ábra Synhelion vállalat DAWN üzemének látványterve [74]
19. ábra Air bp fenntartható tüzelőanyaga tankolásra készen [78]
20. ábra A Holland Királyi Légierő egyik F-16-osa SAF és hagyományos tüzelőanyag keverékével tankolva Leeuwarden légibázisán (fotó: SkyNRG) [80]
21. ábra ATJ-SKA biotüzelőanyaggal repülő Gripen (fotó: SAAB) [89]
22. ábra Ikarus C42 ultrakönnyű repülőgép repülése SAF-fel [82]
23. ábra A Voyager légi utántöltő repülőgép tesztrepülése előtt [83]
24. ábra A Voyager SAF és kerozin keverékével tankolja fel a Typhoon vadászbombázót [85]
25. ábra E-Fan X hibrid repülőgép [91]
26. ábra Zunum hibrid repülőgép [95]
27. ábra 14 motoros Helios HP01 [97]
28. ábra Solar Impulse 2 Abu Dhabi felett [98]
29. ábra Airbus Zephyr-S és Zephyr-T pseudo műholdak [100]

30. ábra Silent Falcon napelemes UAV [102]
31. ábra Üzemanyagcella felépítése [104]
32. ábra PEM üzemanyagcella felépítése [106]
33. ábra DM üzemanyagcella felépítése [108]
34. ábra Diamond HK36 Super Dimona meghajtásának főbb részei [110]
35. ábra Rapid-200 FC repülőgép [113]
36. ábra Antares DLR-H2 repülőgép [116]
37. ábra Antares H3 repülőgép [117]
38. ábra Az E2 meghajtási rendszerének elemei [118]
39. ábra E2 a 2018-as Intergeo kiállításon [118]
40. ábra HY4 meghajtásával kapcsolatos technikai adatok [122]
41. ábra Ion Tiger UAV [123]
42. ábra Sun Flyer 2 repülőgép első tesztrepülésén [125]
43. ábra Két eFusion repülőgép kötelékben repül [132]
44. ábra Airbus E-Fan elektromos repülőgép [133]
45. ábra Puma UAV kézből történő indítása [135]
46. ábra Sikorsky Firefly elektromos helikopter [136]
47. ábra Elektromos R44-es [138]
48. ábra 18 rotoros multikopter [140]
49. ábra Volocopter 2X repülése Dubajban [140]
50. ábra Lítium-polimer akkumulátorok kapacitása a feltöltések számának függvényében [142]
51. ábra A Japan Airlines egyik Boeing 787-sének kiégett APU akkumulátora [144]
52. ábra Boeing és Airbus ZEROe csupaszárny hordozó törzs tanulmányterv
53. ábra A szürke, a kék és a zöld hidrogén előállítása és alkalmazása [148]
54. ábra A power-to-gas technológia összefoglalása (Vámos Sándor készítette) [150]
55. ábra A Bükkábrányi Energiapark napelemei és elektrolizáló berendezése [149]
56. ábra A Holland Hydrogen I projekt látványterve [152]
57. ábra Hidrogén és földgáz meghajtású Tu-155 [153]
58. ábra Hidrogén üzemű Airbus A-319-es és Szuhov Super Jet 100-as tanulmányterv az üzemanyagtartályok elhelyezésére
59. ábra Az Airbus három hidrogén meghajtású tanulmány repülőgépe [155]
60. ábra Hidrogén üzemanyagcellával üzemelő Piper M repülőgép [157]
61. ábra Rolls-Royce hidrogénnel működő AE2100-A átalakított hajtóműve [158]
62. ábra Szélerőgép vázlata [160]
63. ábra A globális biomassza alapú energia forrásai [159]

64. ábra Villamosenergia termelés forrásainak bruttó eloszlása az EU-ban [161]
65. ábra Primer energia eloszlás változása az EU-n belül [163]
66. ábra Magyarország szélteljesítmény-mezője 120 m magasságra modellezve [159]
67. ábra A globálsugárzás átlagos évi összege (2000-2009 között) hazánkban [167]
68. ábra Solar Carport napelempark a Debreceni Egyetem Szolnok Campusának parkolójában [171]
69. ábra TaxiBot vontatás közben [175]
70. ábra Főfutóműre szerelt EGTS – Electric Green Taxiing System [62]
71. ábra WheelTug rendszer elhelyezése az orrfutóművön [179]
72. ábra Mototok Twin LB alkalmazása Airbus AS332 Super Puma-n [180]
73. ábra A Budapest Airport karbonlábnyomának összetétele [181]
74. ábra A Denveri Nemzetközi Repülőtér naperóműve [182]
75. ábra Energiaellátási korszerűsítések a Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtéren [185]
76. ábra Naperómű a Nellis Légierő Bázison Nevadában [189]
77. ábra Naperómű a Davis-Monthan Légierő Bázison Arizonában [190]
78. ábra Napelemes kiserómű a győri laktanyában [193]
79. ábra Napelemes rendszer a tatai laktanyában [195]
80. ábra Talajszondák elhelyezése Pápán [196]
81. ábra Magyarország szén-dioxid kibocsátása ágazatonként [198]
82. ábra Egy átlagos épület hőveszteségeinek eloszlása [200]
83. a ábra B30-as téglából falazat hőszigetelés nélkül [201]
83. b ábra B30-as téglából falazat 8 cm vastag hőszigeteléssel [201]
84. ábra Hat légkamrás ablaktok és öt légkamrás ablakszárny [202]
85. a, b ábra Zrínyi Miklós laktanya egyik épület felújítás előtt és után [203]
86. ábra IR861T szegélyfény és ZA280D középvonalfény [207]
87. ábra A704 jelű futópálya szegélyfény katonai alkalmazásra [209]
88. ábra Mobil repülőtéri világítási rendszer hordozó trélere [210]
89. ábra Hálózatra tápláló és szigetüzemű napelemes rendszer [211]
90. ábra Napkollektoros kapcsolási vázlat melegvíz termelésre, fűtés rásegítésre és medence vizének fűtésére [212]
91. ábra Napkollektoros csővezeték hővesztesége a hőszigetelés vastagságának függvényében [214]
92. ábra MVM Optimum Zrt. napelemes rendszerre adott ajánlata [215]
93. ábra A hagyományos tüzelőanyag, az ATJ-SPK és a Bio-SPK összehasonlítása az elégetésük során keletkező károsanyagok szempontjából
94. ábra A hagyományos, a marhafaggyúból előállított tüzelőanyag, a HEFA és az FT-GTL összehasonlítása az elégetésük során keletkező károsanyagok szempontjából



95. ábra A hagyományos tüzelőanyag és az ATJ-SPK összehasonlítása az elégetésük során keletkező károsanyagok szempontjából

95. ábra A hagyományos, a marhafaggyúból, camelinából előállított tüzelőanyagok és az FT-GTL összehasonlítása az elégetésük során keletkező károsanyagok szempontjából

## TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

1. táblázat Néhány katonai repülőgép tüzelőanyag fogyasztása [24]
2. táblázat Különböző bioüzemanyag fajták és néhány jellemzőjük [32]
3. táblázat HEFA1, HEFA2-es jelű és a Jet A-1 kerozin különböző arányú keverékeinek paraméterei [34]
4. táblázat A MI-8MT és MI-8MTG repülési teszteredményeinek összehasonlítása [36]
5. táblázat A Green Jet Fuel alkalmazása az USA Légierőjének és Haditengerészetének légijárműveiben [71]
6. táblázat SAF-ek előállítási módjai és fajtái [39]
7. táblázat Üzemanyagcellák típusai, tulajdonságai és felhasználási területeik [105]
8. táblázat Üzemanyagok és tüzelőanyag-akkumulátorok energia sűrűsége [105]
9. táblázat Primer energiafelhasználás mennyisége összesen Magyarországon [164]
10. táblázat A megújuló energiaforrásokból és hulladékból termelt primer energia mennyisége energiaforrások szerint [164]
11. táblázat Alfa katonai repülőtér 2018. évi éves közüzemi díjai
12. táblázat Alfa katonai repülőtér CO<sub>2</sub>e kibocsátása
13. táblázat Alfa katonai repülőtér csökkentett CO<sub>2</sub>e kibocsátása
14. táblázat A Magyar Légierő rendszerben lévő merev- és forgószárnyas repülő eszközei [220]

## **MELLÉKLETEK**

1. melléklet: SAF előállító vállalatok, beszállítók és alkalmazásuk [222]
2. melléklet: Budapest Airport Green Partner Program

# 1. MELLÉKLET: SAF ELŐÁLLÍTÓ VÁLLALATOK, BESZÁLLÍTÓK ÉS ALKALMAZÁSUK

Gyártó	Vásárló	Elhelyezkedés (repülőtér)	Átvételi előállítás évente [millió gallon]	Átvételi megállapodás kezdete	Átvételi megállapodás hossza [év]	Megjegyzés
Agrisoma	Qantas		52770	2020	nem elérhető	
Air Total	Airbus / China Airlines	Airbus - Toulouse	nem elérhető	2017		5 db A350-900-hoz szállítva 10%-ban keverve
AirBP	Airbus/Jet Blue	Airbus - Mobile	nem elérhető	2018	1	5 db A321-hez szállítva 15%-ban keverve
	Avinor	Bergen	nem elérhető	2017	nem elérhető	
	SAS, BRA, Kalmar Municipality	Kalmar Repülőtér	0,026	2018	3	
Amyris/Total	Airbus / Cathay Pacific		nem elérhető	2016	2	48 db A350-hez szállítva 10%-ban keverve
Fulcrum	AirBP		50000	2020	10	
	Cathay Pacific		37500	2020	10	
	United		90000	nem elérhető	10	
Gevo	Lufthansa		8000	nem elérhető	5	
RedRock	FedEx		0,429	nem elérhető	7	
	Southwest		3000	nem elérhető	1	
SG Preston	Jet Blue		33000	2019	10	30/70-es keverék
	Qantas	Los Angeles Nemzetközi Repülőtér	8000	2020	10	50/50-es keverék
World Energy (AltAir)	Gulfstream / World Fuel		nem elérhető	2015	3	30/70-es keverék
	SkyNRG/KLM	Los Angeles Nemzetközi Repülőtér	nem elérhető	2016	3	
	SkyNRG/KLM	Växjö Småland Repülőtér	0,032	2018	0,5	5%-os keverék
	Swedavia	Stockholm Arlanda Repülőtér, Göteborg Landvetter Repülőtér, Bromma	0,148	2016	nem elérhető	

		Stockholm Repülőtér, Visby Repülőtér, Luleå Repülőtér				
	United	Los Angeles Nemzetközi Repülőtér	5000	2016	3	
World Energy (AltAir) / Neste	KLM/SAS/ Lufthansa/ AirBP	Oslo Repülőtér	0,033	2016	3	
World Energy (AltAir)/Shell	SkyNRG, KLM, SAS, Finnair	San Francisco Nemzetközi Repülőtér	nem elérhető	2018	nem elérhető	

## 2. MELLÉLKET: BUDAPEST AIRPORT GREEN PARTNER PROGRAM

