

Dr. Makkay Imre<sup>1</sup>

## AZ ELEKTROMOS MEGHAJTÁS JELENE ÉS JÖVŐJE A REPÜLŐGÉPEK FEDÉLZETÉN<sup>2</sup>

*A motoros repülés legfontosabb kérdése a meghajtás, melynek költsége, hatékonysága és manapság már a környezetre gyakorolt hatása is meghatározó. Az új technológiai lehetőségek a repülőgép tervezőket és építőket arra ösztönzik, hogy a folyékony és szilárd energiahordozókon alapuló meghajtások mellett az egyre elérhetőbb elektromos energiaforrásokat is alkalmazzák. A fedélzeti „fly by wire” rendszerek már eddig is a villamos áramra épülő mozgató-jelző rendszert használtak, de a hajtóművekben csak az utóbbi években jelentek meg az elektromos motorok. A dinamikus fejlődő elektronika és a repülőipar már ma is rendelkezik néhány ígéretes kezdeménnyel, mely a közeljövőben az áttörést is meghozhatja a tisztább, energiatakarékosabb légi közlekedés felé.*

### **ELECTRIC DRIVE TODAY AND TOMORROW ON BOARD OF AIRPLANES**

*At the powered airplanes the most important questions is what kind of engine what efficiency and how environmental friendly. The new possibilities of technology initiate constructors besides liquid and solid fuels using electric sources of energy becoming more and more affordable. The „Fly by Wire” used electric actuators and sensors but electric engines appeared only since last few years. Nowadays the dynamically growing electronics and air industry has a few promising initiatives what in the nearest future can give us penetrations to clean and efficient air transport.*

## BEVEZETÉS

A villamos áram ideális energiaforrás a helyhez kötött fogyasztók számára. A földfelszíni és földalatti elektromos kábelek, távvezetékek behálózják a világot, és kényelmes hozzáférést biztosítanak a nagy távolságról érkező energiához – mindemellett korunk egyik nagy kihívása, hogy a villamos energiát a megújuló forrásból nyerjük.

A közlekedésben a pályához kötött járművek – vasút, trolis, metró, villamos – már régóta lelkes fogyasztói a villamos áramnak. A nagyobb mozgási szabadságot az autók, hajók, repülőgépek egyelőre a rossz hatásfokú motorjaikban elégetett üzemanyaggal és annak kipöfékelt gázaival fizettetik meg. Az energiamérleg a pillanatnyi műszaki lehetőségek, és a gazdasági érdekek serpenyőiben dől el, ami néha meglepő eredményekhez is vezethet.

A légi közlekedés fokozottan „szem előtt van” – a káros anyag kibocsátás, a nagy zajterhelés a környék lakóit, de még a repülőterektől távol élőket is zavarja. A kutatók, fejlesztőknek is a leghőbb vágya a tiszta, csendes repülőgép hajtómű megalkotása – amiért a villamos áramot is megpróbálják a fedélzetre vinni és ott a hajtóműben „elégetni”.

<sup>1</sup> egyetemi tanár, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, makkay.imre@zmne.hu

<sup>2</sup> Lektorálta: Dr. Békési Bertold okl. mk. alez, egyetemi docens, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, bekesi.bertold@zmne.hu

A kísérletező kedvű amatőrök, repülő modellezők, kisebb vállalkozások – és természetesen a „fizetett” kutatók és intézeteik – naponta jelennek meg egyre jobb teljesítményű elektromos hajtásokkal, ami azt az ígéretet hordozza, hogy rövidesen megszületnek a jelenleginél kezelhetőbb, elviselhetőbb – és talán olcsóbb – elektromos repülőgép-hajtóművek.

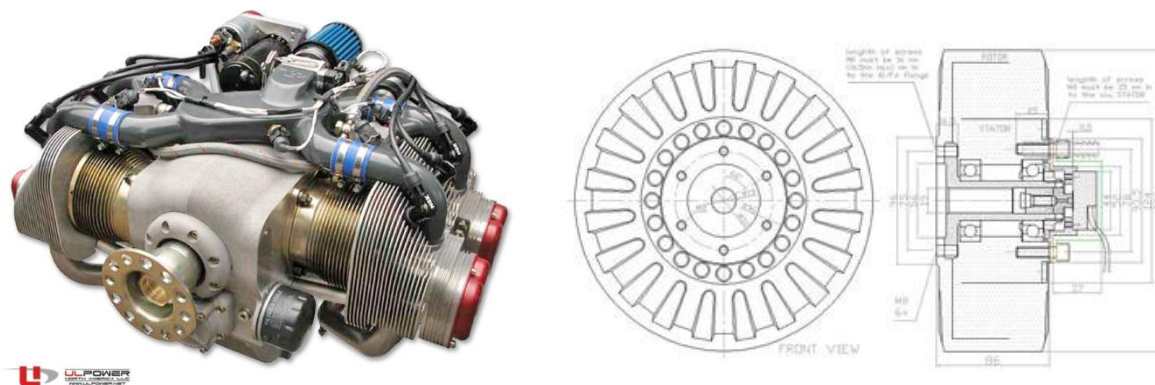
## ELEKTROMOS MEGHAJTÁS A MÉRLEGEN

A motoros repülőgép – a közelmúltig – egyet jelentett a levegővel kevert éghető folyadékok, gázok belső, vagy külső térben való elégetése útján nyert mozgási energia felhasználójával. Míg a belső égésű motorok általában 25%-alatti hatásfokúak, a villanymotorokkal 90% fölött számolhatunk. Ez még akkor is jelentős különbség, ha tudjuk, hogy a folyékony üzemanyag energiatartalma 20:1 azonos tömegű tölthető akkumulátorhoz képest. Az elektromos energiátárolók fejlődése az utóbbi időben jelentősen felgyorsult, de ennek az „ára” az árában is tükröződik, ami új technológiák bevezetésekor nem meglepő. A járműipar egyre sürgetőbb igénye – ebben élen járnak az országúti alkalmazók – ösztönzi a fejlesztőket, de az igazi frappáns megoldás még várat magára. A repülőipar eközben készül az új meghajtó rendszerek fogadására, a saját kutatásaival igyekszik elébe menni a felkínált lehetőségeknek, amelyeket az elektromos hajtóművek kínálnak. Ez azt jelenti, hogy nem egyszerűen „motorcserét” hajtanak végre, hanem a teljes légi jármű újratervezésre kerül, hiszen számos új lehetőség nyílik, amelyek a fosszilis üzemanyagú repülőgépeknél eddig elképzelhetetlenek voltak.

Az elfogyasztott energián, annak árán kívül még van néhány szempont, amit meg kell vizsgálni a helyes kép kialakításához – ezek között szerepel a meghajtómotor megbízhatóság, a rendszer biztonsága, a környezeti terhelés, a működtetés és a használat komfortja valamint a beszerzés és az élettartamra vetített karbantartási költségek.

### A motorok megbízhatósága

A villamos motorok – egyelőre – az általános, ezen belül is a kisgépes repülésben jöhetnek számításba, ezért a belsőégésű motorokat is ebből a kategóriából választjuk – az összehasonlításhoz.



1. kép ULPower [1] és egy EMRAX [2] motor (nem méretarányos) összehasonlítása

Egy modern négyütemű léghűtéses boxermotor, mint az ULPower közel száz elemből (különleges hő és mechanikai terhelésnek kitett, precíziósan megmunkált gépalkatrészből és számítógéppel vezérelt elektronikai áramkörből) épül. Egy hasonló teljesítményű, kefenélküli há-



romfázisú EMRAX villanymotor mindössze álló- és forgórészből, valamint 2 csapágyból áll. Az EMRAX motor konstrukcióját találmány védi, de az elkészítés körülményei és technológiája nem sokban haladják meg egy jobb háztartási mosógépmotor igényeit.

Egy autó és egy repülőgép között az egyik legszembevetőbb különbség, hogy az utóbbinál az olajnyomás, olaj-, hengerfej-, kipufogógáz hőmérsékletmérő „nem dísznek van” a műszerfalon, hanem azért, hogy a vezető egyik szemét rajtuk tartsa! Ennek az egyszerű oka, hogy ha bármelyik a szélsőértéket meghaladja, a pilótának döntenie kell a repülés folytatása, vagy megszakítása kérdésében. Mivel a levegőben megállás nem egyenlő az útpadkára lehúzódsal ezt mindenki igyekszik elkerülni, vagy legalább a lehetőségét csökkenteni.

A „minősített” repülőgépmotoroknál a gyártó általában 1200-2000 órát ad a kötelező felülvizsgálatok (Time before overhaul – TBO) között. A JET és turbólégcsavaros motoroknál ez 3000-5000 óra között jellemző. A felújítás ára nem kevés, hiszen a motort teljesen szétszedik, a kopó alkatrészeket kicserélik, majd összerakják. A repülőgép üzemben tartók – és a vásárlók – ezért nagyon érzékenyek a „ – mennyi van még a motorban?” kérdésre.

Ezzel szemben, a villamos hajtás motorja mindössze két csapágyat tartalmaz. A meghibásodásuk valószínűsége jóval csekélyebb, és ha cserére szorulnak, az is töredéke a dugattyús motor felújítási költségének.

## **A meghajtó rendszer biztonsága**

Az üzemanyag ellátó rendszer bizonytalansága – beleértve a tankolt üzemanyag minőségének a kérdését is – érzékeny területe a motoros repülésnek. A lezuhanások jelentős számában az üzemanyag játszik szerepet – nem elég az adott feladathoz, megszakad az ellátás csőrendszerre, nem üzemszerű hőhatás éri és tüzet/robbanást okoz, rossz minőségű és csökkenő teljesítményt ad. Egy késői tartaléktankra kapcsolás is okozhat motorleállást, amikor a levegőben az újraindítás már nehézségekbe ütközhet.

A villamos hajtásláncban az energiaforrást a fogyasztóval kábel csatolja össze, miközben a fogyásról és a tartalékokról a műszerek tájékoztatnak. A fedélzeti számítógép pontos adatokkal szolgál a még megtehető távolságról és a tartalékok helyzetéről – amire az átkapcsolás nem okoz semmilyen nehézséget. A „tankolt” elektromos áram mindig ugyanolyan minőségű!

A folyékony üzemanyag fogyása a repülés során jelentősen befolyásolhatja/változtathatja a repülési tulajdonságokat. Ennek veszélye a villamos hajtásnál nem jelentkezik, hiszen a töltött/kisütött akkumulátor súlypontja nem vándorol.

## **Környezeti terhelés**

A környezet hang és gázszennyezése a belsőégésű motoroknál igen súlyos teher, melyet mindannyian viselünk – akár repülünk, akár csak a távolról „élvezzük” a repülést. A természetvédelmi területek feletti motoros repülés korlátozása ugyan megvédi az állatokat, de jó lenne hasonló védelemben részesíteni a másutt élő védtelen embereket is.

A villamos hajtás energiáit a jövőben Hidrogén alapú tárolók szolgálhatják ki – amelyeknél a tárolás, előállítás hordoz bizonyos kockázatot, de melléktermék csak vízpára formájában kerül a környezetbe. A villanymotorok „zaját” már néhány méterről nehéz felfedezni. A lég-



csavar által keltette surrogást, pedig az alacsony fordulatszámmal és speciális profillal lehet csökkenteni.

### **Az alkalmazás kényelme**

A kiszolgálás és használat egyszerűsége és komfortja mindenképpen a villamos hajtás javára billenti a mérleget. Amíg egy Rotax 912 helyes működtetése komoly felkészülést és folyamatos odafigyelést igényel, addig a villanymotor be és kikapcsolása, valamint a fordulatszám szabályozása az egyetlen elsajátítandó „tudás” amit a pilótára bízunk. Az okos elektronika egyszerűen nem engedi túlterhelni, tönkretenni a motort, vagy az akkumulátort. Nem kell foglalkozni a karburátorjegesedéssel, keverék aránnyal, olajszínttel, olajnyomással és hőmérséklettel. Az üzemi hőfok eléréséhez sem kell hosszú percekig brummogatni – a környezet nagy öröme – a motorunkat.

A villamos hajtású repülőgépen a „füles” is elhagyható – az utasok akár beszélgethetnek!

### **Az életciklusra vetített költség**

Az ULPower beszerelési tömege 72,3 kg míg az EMRAX-é 11,8 kg. Ez utóbbi a teljes akkumulátorkészletével együtt kevesebbet nyom, mint az ULPower üzemanyag nélkül. (Az összehasonlítás persze akkor igaz, ha mindkettőt ugyanarra a célra – például motoros vitorlázó gépben – használjuk.)

A villanymotorok élettartama jelentősen hosszabb, de azt is tudomásul kell venni, hogy az akkumulátorok kapacitása 1000 kisütés után – vagy már hamarabb – csökken. A cseréjük 2000 óra használat után esedékes. A fájdalmat enyhíti, ha közben a természet ajándékaént olcsón sikerült „tankolni” és a felhasznált elektromos áram napelemből, vagy szélgenerátorból került a telepekbe.

A végső mérleg még ilyen 2000 órás csere esetén is 10-25%-al alacsonyabb üzemeltetési költséget mutat a belsőégésű motorok „újraépítésével” szemben.

Az elmúlt évtizedekben kiemelkedő eredmények születtek a motorok és energiaforrásaik új generációját ígérve. Ezekből mutatunk be néhányat – a példa és nem a teljesség igényével.

## **AZ ELEKTROMOS MEGHAJTÁSÚ REPÜLÉS ÚTTÖRŐI**

A kísérletezések több irányban folynak – ebben jelentős részt vállalnak amatőrök, kreatív csoportok és nagy cégek is – a gazdasági erejük és érdekeltségükhöz mérten. A legkézenfekvőbb megoldásokat mindig a „szorult helyzet” szüli és ilyen, jellemzően kis költségvetésből is csodákra képes repülőmodellezők, akik elsőként alkalmazták az elektromotorokat a dugattyús hajtás kiváltására. Az akkumulátorok fejlődése néhány év alatt az elektromos meghajtások elterjedését eredményezte – kiszorítva a sokkal nehezebben kezelhető, komoly hozzáértést igénylő „nitrós” motorokat. A néhány perces repülést biztosító NiCd és a NiMH után a LiPo már több mint fél órán keresztül a levegőben tud tartani akár egy műrepülő modellt. A vitorlázó repülőmodellek ettől jóval hosszabb ideig képesek repülni, kihasználva a jó siklási tulajdonságukat és az esetleges feláramlásokat – de nézzük meg, mit tanultak az amatőröktől a „profik”.

A ma forgalmazott vitorlázó repülőgépeknél, szinte kivétel nélkül felajánlott lehetőség a hazatérő, de egyre inkább a felszállást is biztosító segédmotor. A törzsbe behajtható motor csak a szükséges ideig működik, majd elrejtve, a repülőgép siklási tulajdonságait nem rontva „lapul”, mindaddig, amíg újból ellő kell venni. Eleinte az erre a célra tervezett belsőégésű motorok szerepeltek a kínálatban, de ma már egyre több elektromos meghajtású segédmotor is fel tűnik – egyelőre borsosabb áron. A villamos hajtás kényelme, egyszerű karbantartása a gyors elterjedést sejteti, mégis van egy nagy akadály, az energia tárolása (a benzinhoz képest) még mindig kb. 5-ször nagyobb tömegű akkumulátorral oldható csak meg, aminek bekerülési költsége is tetemes.

Egyik kiváló, és ráadásul megújuló energiaforrásunk a nap, amely a repülőgép konstruktőröket is egyre jobban foglalkoztatja. Az elektromos árammá való átalakítás a jelenlegi napelemek 20% alatti hatásfokával ugyan szerény eredmény, de történt már itt is néhány sikeres kísérlet.

Az első rekordot – 4 óra 41 percet levegőben töltő – napelem hajtású repülőgépet Günter Rochelt professzor alkotta, amely formáját tekintve is szokatlan Canard 2FL ultrakönnnyű vitorlázó gépre épült és mindenképpen inspiráló volt a további fejlesztésekhez



2. kép A Solar 1 már 1979-ben napenergiával repült [3]



3. kép „Sunseeker II” napenergiát használó, pilótával repülő motoros vitorlázó [5]

Rochelt tervezte az első sikeres, emberi erővel hajtott repülőgépet is. Ebben az „iskolában” tanulta meg az igazi könnyű szerkezetek titkát és kapott kedvet a „nappal repüléshez” a műrepülő bajnok Eric Raymond is, aki később megépítette a maga „SunSeeker”-eit. [4] A 247



mérföldes nonstop repülése egyelőre világrekord emellett a 16 600 lábas magassági rekordot is Ő tartja.

Az Eric Raymond vezette sikeres törekvés – a nap energiáját felhasználva repülni – a „legzöldebb álmok” közé tartozik. A megoldás egyik kulcsa a hatékony nap-elektromos energia konverzió, a másik a speciálisan erre tervezett kis légellenállású sárkányszerkezet.



4. kép Eric Raymond a napelemek alkalmazásáról tart előadást [6]

Eric Raymond több sikeres európai túrarepüléssel [7] bizonyította, hogy a „nappal repülés” egyre közelebb kerülhet a mindennapi gyakorlathoz. A SunSeeker Team ma már a kétszemélyes változaton dolgozik, amelyben – saját fejlesztésű motorjával – részt vesz a szlovéniai Roman Sušnik is.

Roman Sušnik munkássága is tanulságos. Először vett egy APIS ultrakönnnyű vitorlázót KIT-ben és 2004-ben a friedrichshafeni kiállításon – a „nagyok” mellett – megjelent a kefes motorú APIS EA1-el. Szorgalmasan dolgozott a motor továbbfejlesztésén és 2008-tól már a kefe nélküli EMRAX motorokat gyártja olyan sikerrel, hogy a „nagyok” is tőle vásárolnak. A Pipistrel gyár kétszemélyes Taurusa – az idei friedrichshafeni egyik díjazott – a DG Flugzeugbau és a már a Cessna Aircraft is az Ő motorjait próbálgatja. Több európai egyetemi kutatást/fejlesztést is ellát motorokkal, ahol a hajók, autók elektromos hajtásán dolgoznak.



5. kép A Pipistrel gyár két elektromos hajtású modellje a Taurus és az Apis Electro Bee

A szegedi Vitorlázó Világbajnokságon már találkozhattunk másik két szlovén feltaláló Luka és

apja Matija Žnidaršič ragyogó megoldásával a FES – Forward Electric Sustainer – azóta már önálló feszállást is bemutató – elektromos hajtással. Mindketten a modellezőként kezdték, majd a vitorlázó repülés következet és a több-ezer óra tapasztalat után a litván LAK-17B villamosítósa meghozta a sikert, a gép a patinás „Sportine Aviacija” gyár élvonalbeli terméként vált.



6. kép FES az Aero 2010 –en mutatkozott be Friedrichshfenben [8]

A „felnagyított modellező légszár” az orrkúpban sokkal kevesebb gondot okoz, mint a törzsbe rejtett társaik, amelyeket hosszas nyitogatás után lehet csak üzembe helyezni. A légeleállítás növekedés alig észlelhető – a kinn hagyott futóhoz hasonló zajnövekedést okoz. A megoldás más gépek (ASW, ASG, ASH, HPH, JS1, Schempp-Hirth) átalakításához, újak tervezéséhez is ajánlható. A teljesítménymutatók ígéretesen javulnak - ahogy a videó felvételeken látható, a Silent 2 FE(SL) már fűről is felszállt. [9]

A „nagyon nagyok” összehasonlíthatatlanul jobb körülmények között, a legújabb anyagok és technológiák birtokában – az űrtechnika színvonalán – fejlesztik a jövő elektromos repülőit. A több kutató fejlesztő intézet erőforrásaival – NASA támogatással – épülő napelemes repülőgépek sorra döntögetik a táv-, időtartam-, magassági rekordokat. A Pathfinder, Centurion, Helios nyitotta a sort, a „nappali repülésben” pilóta nélküli (Unmanned Air Vehicle – UAV) változatokkal.



7. kép A „Pathfinder” elérte a 24470 méteres magasságot [10]

Az európai összefogással megépült „Solar Impulse” is az egyik ilyen példája a fizika és a legújabb technológia párharcának – melyben az utóbbinak kell folyamatosan javulnia. A gép szárnymérete megközelíti a Boeing 777 utasszállítóét (61,4 m) a mindössze egy pilótára ter-

vezett kabin berendezése – a tömeg csökkentése érdekében – meglehetősen spártai. A fejlesztők terve, hogy 2013-14-ben, öt állomás közbeiktatásával körberepüljék a Földet. [11]



8. kép A „Solar Impulse” 2011. májusban már megtette a Brüsszel-Párizs távolságot [12]

Az energiacellák egyre nagyobb reményt keltenek a jobb tömeg/teljesítmény arány eléréséhez. A nagyon komoly gazdasági érdekelttségű kutatások naponta érnek el biztató sikereket. Ennek ellenére kiforrott, az általános repülésben széles kör számára elérhető energiaforrás még nem kapható.

## ZÁRÓ GONDOLATOK

Írásunk a repülést szeretők, az iránt érdeklődők számára készült, korántsem a teljesség igényével. Az elektromos hajtóművek kényelmes, csendes, biztonságos alternatívát jelentenek a motoros repülésben. A kisgépes repülésben már bizonyította alkalmasságát – a hazatérő/felszálló vitorlázó segédmotorok területén. A jelenlegi technológiával tárolt, a fedélzeten előállított és a megújuló forrásokból nyert energia mérlege még nem teszi lehetővé a tartós repüléseket, de a kutatások naponta jelentenek biztató eredményeket. Amint a technika más területein, a repülőgépek elektromos meghajtási rendszereiben is a találékonyság, az új megoldások bátor keresése hozza meg az eredményt – erre biztatva az olvasókat:

### KÉK EGET, JÓ LESZÁLLÁST!

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] <http://www.ulpower.net/images.html>
- [2] <http://www.enstroj.si/Electric-products/emrax-motors.html>
- [3] <http://www.ruppert-composite.ch/english/images/solair1.jpg>
- [4] <http://solar-flight.com/>
- [5] <http://www.solar-flight.com/press.html>
- [6] <http://www.solar-flight.com/speach.jpg>
- [7] <http://www.solar-flight.com/news.html>
- [8] <http://www.front-electric-sustainer.com/photo.php>
- [9] [http://www.youtube.com/watch?v=zRQvwst-hTE&feature=mfu\\_in\\_order&list=UL](http://www.youtube.com/watch?v=zRQvwst-hTE&feature=mfu_in_order&list=UL)
- [10] <http://www.blazingwings.org/entry/top-12-solar-powered-aircrafts/>
- [11] <http://www.eumozaik.hu/trendi/technika/solar-impulse-napelemekkel-foeld-koeruel>
- [12] <http://www.aviationnews.eu/2011/05/12/1st-international-flight-by-solar-impulse/>