

Kavas László¹ – Óvári Gyula² – Rozovicsné Fehér Krisztina³

SOLAR IMPULSE⁴

A környezetszennyező fosszilis üzemanyag perspektivikus alkalmazhatóságának lehetősége azért is korlátozott, mivel belőle az elkövetkező években egyre kevesebb mennyiség termelhető ki, így ára is folyamatosan növekszik. Emiatt, célszerű a figyelmet az alternatív energiahordozókra fordítani. Ezt tette néhány svájci szakember is, akik több éves munkával megalkottak egy olyan repülőgépet, amelynek a teljes szárnyfelületét napelemek borítják. Ennek eredményeként a napsugárzás energiáját begyűjtve nem csak nappali, hanem megfelelő hányadát tárolva, éjszakai repülésre is alkalmassá tették az elektromos hajtóművekkel felszerelt légi járművet. Először egy szomszédos országba, ezt követően egy másik kontinensre repültek át vele, majd ebben az évben tervezik a Solar Impulse-nak nevezett repülőgépükkel a Föld körülrepülését.

SOLAR IMPULSE

The perspective use of environmentally pollutant fossil fuels is also limited because less and less can be exploited in the next years and due to it its price will be continuously higher and higher. Considering this, it is worth paying more and more attention to alternative energy sources. This was the cause that some Swiss aviation specialist, working for several years on the project, created an aircraft with fully solar cells covered wing surface. The result was an aircraft, which with its electric engines, collecting and partly storing the solar energy, capable of flying day and night. At first they flew to a neighbouring country and later to another continent. This year they attempt of flying around the globe with their electric powered aircraft called Solar Impulse.

A Földünkön kitermelhető fosszilis eredetű üzemanyagok mennyisége egyre csökken, ezzel együtt fokozatosan drágul is. Ez arra indította a felhasználókat, – köztük a polgári és katonai repülések felelős irányítóit is – hogy kutassák a hagyományos üzemanyagok alternatív energiahordozókkal történő kiváltási lehetőségeit. A repülőgépek meghajtásának egyik kézenfekvő megoldásaként kínálkozott a napenergia hasznosítása, melyre már az 1970-es években is történtek biztató kísérletek.

NAPELEMEKRŐL

A napelem (vagy foto villamos elem) olyan szilárdtest eszköz, amely az elektromágneses sugárzást (foton befogást) közvetlenül villamos energiává alakítja. Az energiaátalakítás alapja, hogy a sugárzás elnyelődésekor mozgásképes töltött részecskék jönnek létre, amiket az eszközben az elektrokémiai potenciálok, illetve az elektron kilépési munkák különbözőségéből származó elektromos tér rendezett mozgásra kényszerít, így elektromos áram jön létre. Ez a jelenség bármilyen, megfelelő fényspektrummal rendelkező fényforrás esetén is lezajlik, nem szükséges kizárólagosan napfény [1].

1 alezredes, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, kavas.laszlo@uni-nke.hu

2 közalkalmazott, egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, ovari.gyula@uni-nke.hu

3 közalkalmazott, mérnök-tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, rozovicsne.fehér.krisztina@uni-nke.hu

4 Lektorálta: Prof. Dr. Makkay Imre ny. ezredes, egyetemi tanár, drmi48@gmail.com

Gyártási technológiájuk alapján két nagy csoportba sorolhatóak, kristályos és vékonyrétegű napelemekre. A kristályosoknak tovább két alcsoportja létezik: a mono- és a polikristályos technológiával előállított cellák (1. ábra). Mindkét alcsoport alapeleme a szilícium félvezető réteg. Eltérés közöttük a gyártásukon kívül az, hogy a napsugarakat, - azok beesési szögétől függően - másként hasznosítják (forró égővben a monokristályos modulok kicsit jobban teljesítenek, míg északon a polikristályos változat hatékonyabb [2]). Mivel az egykristályos cellák, nagyobb teljesítményt képesek leadni így a Solar Impulse repülőgépeknél is ezt használják.



1. ábra Mono- és polikristályos napelemek⁵

Napelemek a Solar Impulse repülőgépben

Minden napelemet, a Solar Impulse repülőgépekbe történő beépítés előtt háromszor ellenőriznek. Egy panel elkészítéséhez (2. ábra) először 300 db cellát kötnek össze, ügyelve a polaritásukra. Műgyantát kennek az üvegfólia alá, és erre fektetik az összekötött cellákból álló réteget. Az így kapott több rétegből álló lemezt egy formába helyezik, majd 7 óra időtartamra 95°-ra kemencébe helyezik.



2. ábra Napelem panelek összeállítása⁶

Nagyon fontos, hogy összeszerelés alatt semmilyen szennyeződés (haj vagy akár por, stb.) nem érheti a napelem panelokat. (Ezekből egyetlen elkészítése 10–15 órát igényel, a Solar Impulse-

⁵ kép forrása: http://napelem.net/napelemes_rendszer/monokristalyos_polikristalyos_napelem.php

⁶ kép forrása: <http://www.solarimpulse.com/timeline/view/6544#.VNHqDtJMwns>

hoz 48 darabot gyártottak). A cellák között hézagokat hagynak, amelyeket vékony fóliával fednek be, így a napelemek dilatációja okozta alakváltozás egymás károsítása nélkül történik. A fóliák egyben rugalmasak is, hiszen kompenzálniuk kell repülés közben a szárny megengedett aeroelasztikus deformációja (hajlítás, csavarás) során bekövetkező alakváltozásokat. Ezen kívül átlátszóak is, hogy a napelemekhez minimális veszteséggel jusson el a szárnyat érő fény.

SOLAR IMPULSE REPÜLŐGÉPEK

Svájcban közel tíz év leforgása alatt két repülőgépet építettek. Az első, Solar Impulse nevű prototípus lajstromjele HB-SIA, míg a másodiké, a Solar Impulse 2-é HB-SIB.

Solar Impulse (HB-SIA) technikai adatai

Az indító prototípus (3. ábra) fejlesztése 2006-ban kezdődött és egészen 2009-ig tartott. Vele az első nappali felszállást 2010. április 7-én, míg az éjszakait 2010. július 7-én hajtották végre.

A HB-SIA $1,3 \text{ m}^3$ térfogatú, túlnyomás nélküli pilótafülkéjében egy fő foglalhat helyet. Szárnya alatti gondolákban helyezték el az (lítium-polimer) akkumulátorokat. Ezeket a szárny és a vízszintes irányfelületek felső, $\sim 200 \text{ m}^2$ -es felületén elhelyezett 11 628 db napelem tölti fel energiával. Négy elektromos motorjának teljesítménye egyenként 7,5 kW, melyek átlagosan 70 km/h-s sebesség elérését teszik lehetővé. A repülőgép hossza 28,85 m, a magassága 6,4 m, a szárnyfesztávolsága 63,4 m (összehasonlításképpen Airbus A340-es sorozat szárnyfesztávolságai 60,3–63,45 m).



3. ábra Solar Impulse repülőgép⁷

A repülőgép törzskialakítása konvencionális rácsszerkezet, ahol a négy hosszirányú szénszálcső keresztmetszetű övrudat, az oldallapok mentén egyenlőszárú háromszög formában elhelyezett rácscrudak kötik össze (4. ábra).

⁷ kép forrása: <http://www.solarimpulse.com/timeline/view/4468#.VM9nidJMwns>

A négyszög keresztmetszetű, szénzál erősítésű kompozit főtartóra, 50 cm-ként, hasonló anyagú 120 db bordát rögzítettek. A szárny szendvics szerkezetű, méhsejt (hexagonális cellás) töltőanyaggal, alját könnyű, rugalmas filmréteggel vonták be.



4. ábra Solar Impulse repülőgép sárkányszerkezete⁸

A szárnyak alatt négy, a törzzsel azonos szerkezeti kialakítású gondolában helyezték el a légcsavarokat meghajtó villanymotorokat, és az energiát tároló 70 db lítium-polimer akkumulátort, valamint az akkumulátorok töltöttségét és hőmérsékletét ellenőrző irányító rendszert. Ugyancsak ide építettek be gondolánként 2–2 MPPT (Maximum Power Point Trackers) nevű szabályzó egységet, melyek elektromos áramkörként optimalizálják a villamos energia felvételét a napelemekből, és szabályozza az akkumulátorok töltését. Nagy repülési magasságokon (~8500 m) és/vagy éjszakai repüléskor a környezeti alacsony hőmérséklettől a gondolában lévő berendezéseket hőszigetelő réteg védi. Az elektromos motorok kétlapátos, 3,5 m átmérőjű légcsavarokat hajtanak meg, percenként 400 fordulattal.

A napelemeket alkotó 145 mikron vastagságú monokristályos szilícium cellák, kellően könnyűek és jó hatásfokkal hasznosítják a napsugárzást. A hozzájuk kapcsolódó akkumulátorok még mindig nehezek - a repülőgép tömegének ~25 %-a – emiatt szükségessé vált a repülőgép további részeinek tömegcsökkentése. (Ld. még KÖVETKEZTETÉS 2.!)

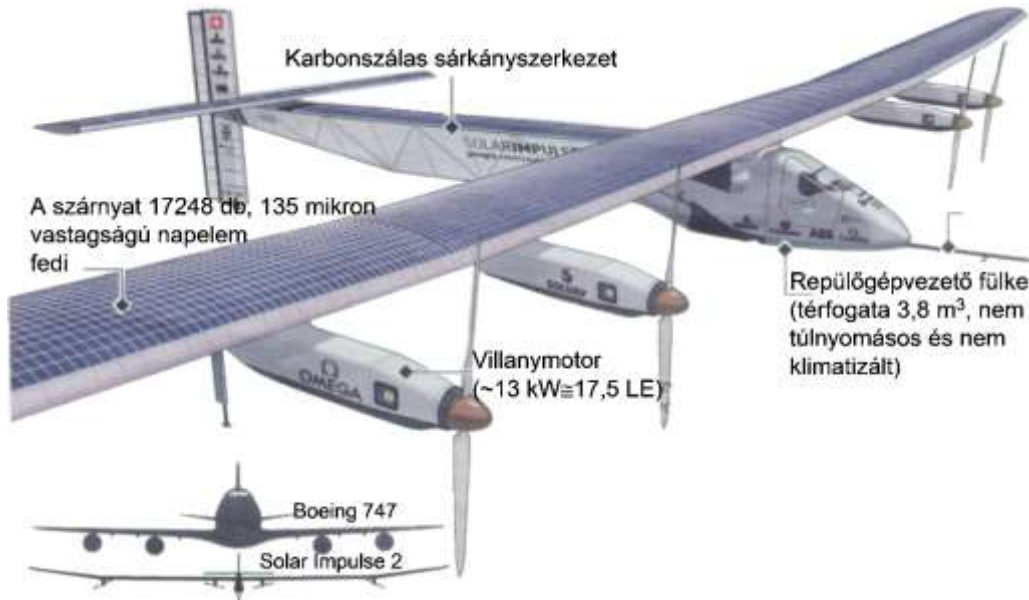
A Solar Impulse repülőgépen elhelyezett központi fedélzeti számítógép begyűjti, majd elemzi a repülőgép és a repülés aktuális paramétereit, információkat ad a pilótának, telemetria kapcsolatban tart fenn a földi, műszaki személyzettel, optimális teljesítmény leadásra állítja a motorokat, miközben ellenőrzi az akkumulátorok töltöttségét is.

Tervezői és építői ezzel a repülőgéppel kívánják demonstrálni, hogy csak a Nap energiáját felhasználva is lehetséges repülni nappal és éjszaka.

⁸ kép forrása: <http://www.solarimpulse.com/en/our-adventure/hb-sia/#.VNicqeZMwnt>

Solar Impulse 2 (HB-SIB) technikai adatai

A Solar Impulse 2 repülőgép (5. ábra) építését 2011-ben kezdték és két évre volt szükség a befejezéshez. 2014. június 2-án emelkedett először a levegőbe. Megalkotásában 50 mérnök és technikus, 80 technológiai partner, több mint 100 tanácsadó és beszállító vett részt [3].



5. ábra Solar Impulse 2 repülőgép⁹

A sárkányszerkezet és a teherviselő rendszer kialakítása megegyezik az első prototípusával. Meghatározó szerkezeti anyaga a szénszál erősítésű kompozit, a szárny méhsejt töltőanyagú szendvics kialakítású, amely kis tömegű és erős szerkezetet biztosít a repülőgépnek. A sárkány üres szerkezeti tömege tizede, egy azonos geometriai jellemzőkkel bíró vitorlázó repülőgépének. A külső felületét borító szénszálas kompozitanyag fajlagos tömege kevesebb, mint az ugyanakkora külső paraméterekkel rendelkező, nyomtatókhöz is használatos papírlapnak (25 g/m^2).

A 71,9 m-re növelt fesztávolságú szárny (meghaladja a Boeing-747-ét!) szükséges aero-dinamikai formáját és szilárdságát, – elődjéhez hasonlóan – a főtartóra 0,5 m-ként rögzített, 140 db szénszálas borda biztosítja. A felső szárnyfelületet itt is napelemek, míg alsót könnyű, rugalmas filmréteg borítja.

A nagyobb felületű szárnyon, illetve a törzsön és a vízszintes, valamint függőleges vezérsíkon több, 17 248 darab, 135 mikron vastagságú napelemet lehetett elhelyezni, összesen $269,5 \text{ m}^2$ felületen (6. ábra). Ez, a hőszigetelt hajtómű gondolatokban elhelyezett, 633 kg tömegű lítium-polimer akkumulátorok töltésén kívül nagyobb teljesítményű elektromos motorok ($4 \times 13 \text{ kW} \approx 4 \times 17,5 \text{ LE}$) alkalmazását is lehetővé tette. (Összehasonlításképpen a repülőgép össztömege 2300 kg). Az elektromos motorok kefék és érzékelő nélküliek, 4 méter átmérőjű, a kétlapátos légsavarakat percnként 525 fordulattal forgatják.

Az elkészült Solar Impulse 2 repülőgép néhány repülési és műszaki adata: [4]

- a megengedett maximális bedöntés értéke: 5°

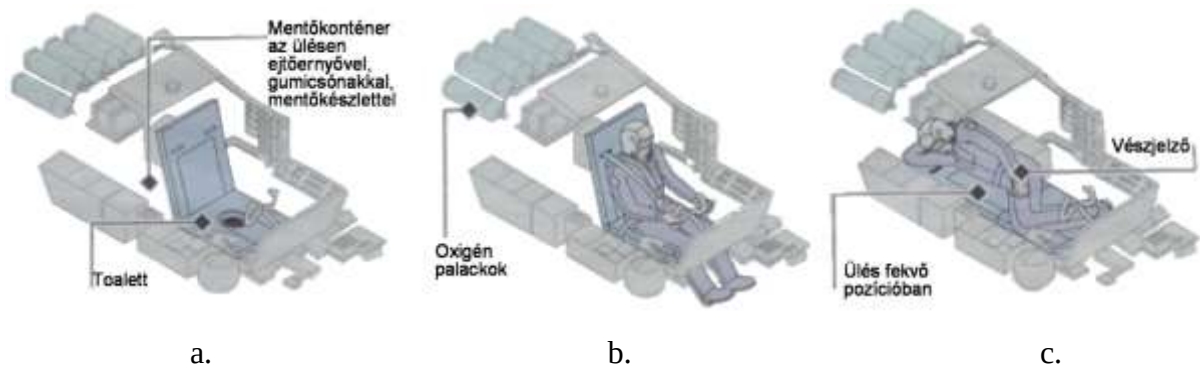
⁹ kép forrása: Getty Images

- felszállási sebesség: 35 km/h;
- nekifutási úthossz kevesebb mint 150 m;
- maximális utazási magasság (napközben): 8500 m;
- minimális sebesség a tengerszinten: 35 km/h;
- maximális sebesség a tengerszinten: 90 km/h;
- minimális sebesség 8500 m-en: 57 km/h;
- maximális sebesség 8500 m-en: 140 km/h;
- szerkezeti tömeg: 2300 kg;
- akkumulátorok össztömege: 633 kg.



6. ábra Napelemek elhelyezkedése a Solar Impulse 2 repülőgépen¹⁰

Az éjszakai repülésnek, a jelenleg ismert legkorszerűbb akkumulátorok alkalmazása mellett is súlyos ára van. Az előd típusnál nagyobb térfogatú ($3,8 \text{ m}^3$), együléses repülőgépvezető fülkében – a szükséges energia tartalék hiányában – túlnyomás és kondicionálás kialakítása, a hosszú távú repülések megkönnyítésére robotpilóta beépítése számításba sem jöhetett.



7. ábra Pilótaülés átalakíthatósága¹¹

¹⁰ kép forrása: <http://www.solarimpulse.com/en/our-adventure/solar-impulse-2/#.VNIGluZMwns>

¹¹ kép forrása: http://www.solarimpulse.com/en/our-adventure/human-challenges/?utm_source=site&utm_medium=thumbnail&utm_content=rtw&utm_campaign=human-challenges#.VNNIhNJMwns

A fülke belső hőmérsékletét (a kis és nagy repülési magasság, nappali-éjszakai repülés okán $\Delta t_{\text{környezeti}} \cong 35\text{--}40\text{ }^{\circ}\text{C}$! is lehet) hőszigeteléssel kívánják elfogadható szinten tartani (5. ábra). A huzamos idejű repülés során fellépő biológiai szükségletek kielégítésére az üléseszsébe toalettet építettek be, a repülőgép kormányozhatatlanná válás és kényszer-leszállás esetére annak háttámlájára mentőkonténert helyeztek el (7.a. ábra). Az utóbbi az ejtőernyőn kívül a szokásos mentő és túlélő készletet tartalmazza. Napközben a 3000–8500 m-es repülési magasságban a légzés előírt élettani feltételeit oxigénpalackok biztosítják (7.b. ábra).

Az egyszemélyes fülkében a lassú, hosszú időtartamú repülés során neuralgikus elem a repülőgépvezető pihentetésének (altatásának) megoldása, melyet a robotpilóta hiánya is nehezít. A kormányvezérlés valamennyi csatornáján nagy statikus stabilitású Solar Impulse 2 esetében a modell és szimulátor kísérletek 20 perces összefüggő, biztonságos alvás, relaxálás lehetőségét valószínűsítették repülés közben az egyszerűen fekvőhelyé átalakítható ülésen (7.c. ábra). Ilyenkor a repülést felügyelő rendszer az előírásostól eltérő repülési jellemzők (sebesség, magasság, dőlés, bólintás stb.) esetén – a szokásos fény és hangjeleken kívül – a repülőgépvezető csuklójára rögzített vibrációs jelzőn keresztül is azonnal figyelmeztet.

A lerövidített, szakaszos pihenések optimális hasznosítására, ébren a koncentráció fokozására, speciális felkészítés során önhipnózist és különböző relaxálási technikákat sajátítottak el a pilóták (Bertrand Piccard, André Borschberg). Természetesen a Föld körüli repülés előtt és alatt is folyamatosan tanácsokkal látják el a pilótát az orvosok és a műszaki, valamint repülési szakemberek. A Nestlé Health Science például ajánlást adott ki a pilóta számára egy napi étel- és italbevitelre repülés közben, mely szerint 2,5 kg étel- és ital, 2,5 kg víz és 1 l sportital elfogyasztása célszerű.

A Solar Impulse repülőgép, – mint egy, a napenergia által hajtott új repülőgép konstrukció – megfelelő működtetése, a Föld biztonságos körbepérése szükségessé tette egy komplett felkészítési és üzemeltetési rendszer kimunkálását is. Ehhez a Mission Control Center (rövidítve: MCC) munkatársai minden lehetséges eshetőséget szimulálnak, ami előfordulhat a repülés folyamán, és

- külön repülési szimulátor fejlesztettek ki a Solar Impulse pilótáinak, amelyben gyakorolni lehetett a hosszú időtartamú repüléseket illetve a szükséges vészhelyzeti eljárásokat.
- kidolgozták a folyamatos segítségnyújtás módszereit és rendszerét, mely magába foglalja az időjárás figyelemmel kísérését, belépési engedélyek és leszállási engedélyek beszerzését az ellenőrzött légterekbe, illetve nemzetközi repülőtereken, valamint a repülőgép és a földi központ folyamatos műholdas adatkapcsolati rendszerét.

A Solar Impulse repülőgépek repülési programjainak jelentősebb állomásai

2010. április 7.: A Solar Impulse prototípus először emelkedik el a földtől, és 87 percet tölt a levegőben, miközben 1000 méteres repülési magasságot ér el.

2010. július 7-8.: A világon elsőként a Solar Impulse prototípus repül megszakítás nélkül 26 órát kizárólag napenergia felhasználásával, amely így magában foglalja az első éjszakai fázist is.

2010. szeptember 21–22.: Svájcot átszelve Genfben és Zürichben is landolt a repülőgép, hogy bemutassák az érdeklődőknek.

2011. május 13.: 13 órányi repülőút után leszállt a Solar Impulse Brüsszelben. Ez volt a repülőgép első nemzetközi útja.

2011. június 14.: A Solar Impulse Párizsban szállt le, mert különleges vendégként részt vett a Párizs-Le Bourget-i Nemzetközi Légügyi és Űr Kiállításon, június 20–26. között. Ez volt az első találkozás a nagyközönséggel és a szakemberekkel.

2012-ben teljesítette a Solar Impulse az Észak-Afrikai küldetést, amely során több mint 6000 km-et repült Svájc-ból Marokkóba és vissza. Ez volt az első interkontinentális repülése:

- május 25-én Payerne-ben szállt fel, és Madridban szállt le;
- június 6-án Rabatban landolt, majd egy hét pihenő után indult újra útnak;
- június 13-án elérte Ouarzazate-t, de nem bírt leszállni a nagy szembeszél miatt, így visszafordult Rabat-ba;
- június 22-én már sikerrel teljesítette a Rabat-Ouarzazate távot;
- június 28-án elindult a visszaútra, és leszállt Rabatban;
- július 7-én Madridban szállt le;
- július 17-én Toulouse-ban landolt;
- július 24-én visszatért a Solar Impulse Payerne-be, és ezzel befejezte Észak-Afrikai útját.

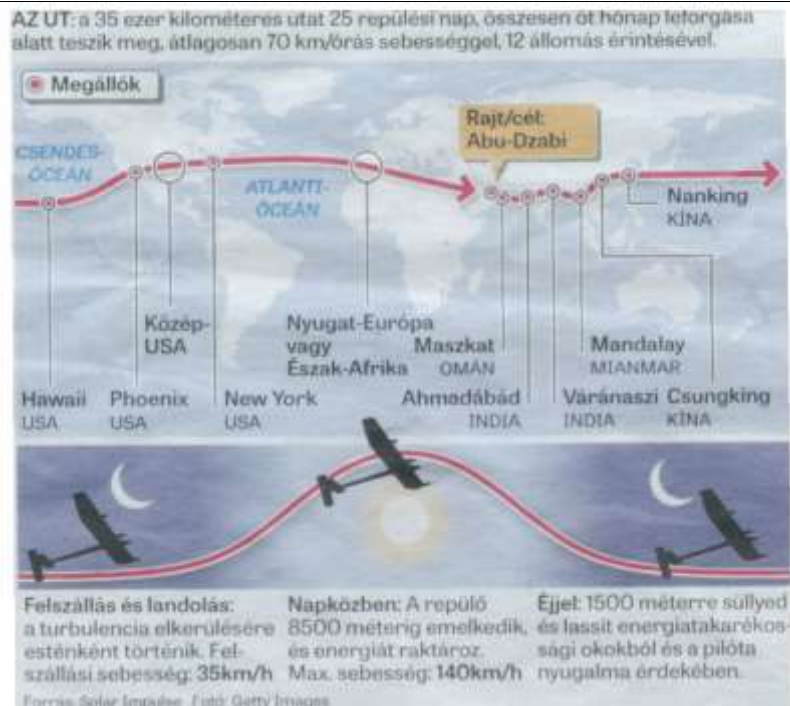
2013-ban újabb utazást terveztek a Solar Impulse-szal. Az Amerikai Egyesült Államokat szeltek keresztül nyugatról keleti irányba. Minden városban, ahol leszállt a repülőgép bemutatót tartottak a megújuló energiákból nemcsak tanulóknak, hanem politikusoknak és üzletembereknek is. Az alábbi útvonalon haladtak:

- 1. szakasz: május 3–4.: San Francisco – Phoenix;
- 2. szakasz: május 22–23.: Phoenix – Dallas;
- 3. szakasz: június 3–4.: Dallas – St. Louis;
- 4. szakasz: június 14–15.: St. Louis – Washington DC;
- 5. szakasz: július 6.: Washington DC – New York.

2014. június 2.: A Solar Impulse 2 repülőgép először emelkedett a levegőbe, 2 óra 17 perces repülés során, 1670 m-es repülési magasságot ért el.

A Föld körül

Január 20-án tartott sajtókonferencián bejelentették, hogy március 1-jén fog a Solar Impulse 2 felszállni az Egyesült Arab Emírátsokból, Abu Dhabi-ból, és ide is tér vissza Föld körüli útjáról július végén, augusztus elején. A 8. ábrán mutatja be a repülés tervezett útvonalát, illetve a kiválasztott leszálló, pihenő helyeket. Itt az is látható, hogy két helyszín (város), – az egyik az Amerikai Egyesült Államok közepén, a másik Dél-Európában vagy Észak-Afrikában – még bizonytalan. A későbbiekben derül ki, hogy e zónákban - az időjárástól és a geopolitikai helyzettől függően – hol lesz lehetőség leszállni.



8. ábra A Föld körüli repülés landolási helyei¹²

A ~35000 km-es út tényleges repülési ideje várhatóan ~500 órát vesz igénybe.

Ez év január 6-án érkezett meg a repülőgép Abu-Dhabi-ba, ahol először összeszerelték, majd február 4-én megkezdték a földi tesztjeit (9. ábra). Terv szerint március 1-én, indul Föld körüli útjára, de addig még sok tennivalójuk van a szakembereknek, pilótának.



9. ábra Solar Impulse 2 Abu-Dhabi-ban¹³

A tervezés során elemezték a technikai (anyagi és rendszer) okból bekövetkező baleseti kockázatot, mely kevesebbnek bizonyult nemzetközi szinten, mint a még elfogadhatónak tekintett 50%-nál.

¹² kép forrása: Kálmán Gábor: A nap erejéből a föld körül METRO ZÖLD 2015. 02. 12. p.11.

¹³ kép forrása: <http://www.solarimpulse.com/timeline/view/7736#.VNNFvNJmwns>

Következtetés

1. A repülés sikeres végrehajtása minden bizonnyal jelentős impulzust ad a légiközlekedésben az alternatív energiák felhasználása, ezen belül is az elektromos meghajtás kutatásának.

2. Ami már a Solar Impulse 2 földkörüli repülés, – bármilyen kimenetelű befejezése – előtt is belátható: a villamos meghajtás térhódításának napjainkban legnagyobb gátja az energia megfelelő hatásfokú tárolása, valamint az erre szolgáló eszközök (akkumulátorok) hosszú idejű, körülményes feltölthetősége. Az akkumulátorok 25–35%-os tömegaránya látszólag kedvezőbb a kerozinos, benzines rendszerek 45–55%-os arányánál, csakhogy az utóbbi üzemanyagok ~1 dl-ben (0,72–0,86 kg) kb. annyi energia-mennyiség van, mint amennyit egy 20 kg-os ólomakkumulátor tárolni képes.

A legkorszerűbb litium-ion (Li-Ion), valamint a litium-polimer (Li-Po) akkuknak ennél ugyan kedvezőbb az energiatárolási hatékonyságuk, azonban még a mobil-telefonokban sem kielégítően biztonságosak (esetenként kigyulladnak, robbannak), a repülőgép energia-rendszerében történő felhasználásuk is okozott már súlyos baleseti kockázattal járó repülőeseményt (10. ábra). Ezért jelenleg inkább nikkel-kadmium (NiCd), vagy tartósabb nikkel-fémhidrid (NiMH) akkumulátorokat alkalmaznak [7].



10. ábra B-787 felrobbant Li-Ion akkumulátora¹⁴

E területen érdemi változást várhatóan a jelenleg fejlesztési stádiumban lévő üzemanyagcellák elterjedése, hatékonyságuk további javulása eredményezhet. Bennük a hagyományos akkumulátorokhoz viszonyítva - azonos térfogatban kisebb szerkezeti tömeg mellett - lényegesen több energia tárolható.

¹⁴ kép forrása: Óvári Gyula dr.: Gázok és villamosság, mint lehetséges repülőgép-üzemanyagok III. HADITECHNIKA 2014/4 p. 4-5.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] WIKIPEDIA <http://hu.wikipedia.org/wiki/Napelem>
- [2] MANITU SOLAR KFT. honlapja http://napelem.net/napelemes_rendszer/monokristalyos_polikristalyos_napelem.php
- [3] SOLAR IMPULSE honlapja http://www.solarimpulse.com/en/our-adventure/building-a-solar-airplane/?utm_source=site&utm_medium=textlink&utm_content=si2&utm_campaign=tech-challenges#.VLTyDtJMwns
- [4] SOLAR IMPULSE honlapja <http://www.solarimpulse.com/en/our-adventure/piloting-a-solar-airplane/#.VLeF0dJMwns>
- [5] WIKIPEDIA http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_Impulse
- [6] SOLAR IMPULSE honlapja www.solarimpulse.com
- [7] Kálmán Gábor: A nap erejéből a föld körül METRO ZÖLD 2015. 02. 12. p.11.
- [8] Óvári Gyula dr.: Gázok és villamosság, mint lehetséges repülőgép-üzemanyagok III. HADITECHNIKA 2014/4 p. 4-5.