

Dr. Óvári Gyula* – Fehér Krisztina**

Repülőgépek elektromos meghajtása – szükségszerűség kompromisszumokkal

VI. rész

A tanulmány sorozat szerzői bemutatták és elemezték a hagyományos meghajtású repülő eszközök alternatív energiahordozókkal történő lecserélésének okait és 21. századi lehetőségeit. Az olvasók megismerhették az elektromos és hibrid meghajtás technológiáit, valamint a pilóta nélküli repülőeszközök (UAV – Unmanned Aerial Vehicle) polgári és katonai célokra történő felhasználásának széleskörű példatárát. A sorozat záró része a magyar szerepvállalásra és a hazai ipari részvételre koncentrált. Kiemelt figyelem irányul a nemzetközi cégekkel kooperáló, hazánkban működő, legkorszerűbb technológiákat alkalmazó vállalatokra és gyáregységekre.

MAGYAR SZEREPVÁLLALÁS A REPÜLÉSBEN ALKALMAZHATÓ ALTERNATÍV ENERGIÁK HASZNÁLATÁRA

FELSŐOKTATÁSI KATONAI KUTATÁSOK

A megújuló energiák hasznosítása hazánkban is központi kérdés. Ennek egy fontos eleme a Nemzeti Közszolgálati Egyetem katonai repülő tanszékeinek négyéves, GINOP-2.3.2-15-2016-00007 azonosító számú „A légiközlekedésbiztonsághoz kapcsolódó interdiszciplináris tudományos potenciál növelése és integrálása a nemzetközi kutatás-fejlesztési hálózatba a Nemzeti Közszolgálati Egyetemen (VOLARE)” című projekt részeként, az AVIATION FUEL kiemelt kutatási terület. Ebben a programban az egyetem oktatói, doktoranduszai, hallgatói együttműködnek más felsőoktatási intézmények, kutatóhelyek szakembereivel és az iparban tevékenykedő kutatókkal, fejlesztőkkel.

HAZAI IPARI RÉSZVÉTEL

GENEVATION

Az alternatív energiák repülésben történő hasznosításával is foglalkozó Alaka'i Technologies Inc. (Hopkinton, Massachusetts, USA) európai fejlesztési partnerének a – megalakulása óta a repülésben következetes, progresszív, innovatív szerepet vállaló és érdemi gyakorlati eredményeket is felmutató, Jakabszálláson települő, kitűnő adottságú – magyar Genevation Aircraft Kft.-t választotta, amely cég e területen felkészült munkaerővel, repülőtéren épített modern, jól felszerelt gyáregységgel rendelkezik, és a legkorszerűbb kompozittechnológiát alkalmazza. (Pl. már jelenleg is olyan 2000 MPa feletti szakítószilárdságú, katonai követelményeket is kielégítő kompozit anyagot gyárt prepreg¹⁰



54. ábra. Alaka'i Technologies Inc. eVTOL SKAI [25]

technológiával, amelyet az Airbus is alkalmaz a légi járműveiben).

A két cég lehetőség szerint közösen kívánja fejleszteni, illetve gyártani a SKAI elnevezésű, hidrogén üzemanyagcellás eVTOL hexakoptert. A légi jármű formatervezését a BMW Csoport Designworks tervezési és innovációs stúdiója végezte, amelynek full scale modellje a Genevation Aircraft Kft. telephelyén megtekinthető. (54. ábra)

A repülőképes prototípus tesztelése az USA-ban zajlik, a Szövetségi Repülési Hivatal (Federal Aviation Administration – FAA) bevonásával. A Genevation is részt vesz a fejlesztésben.

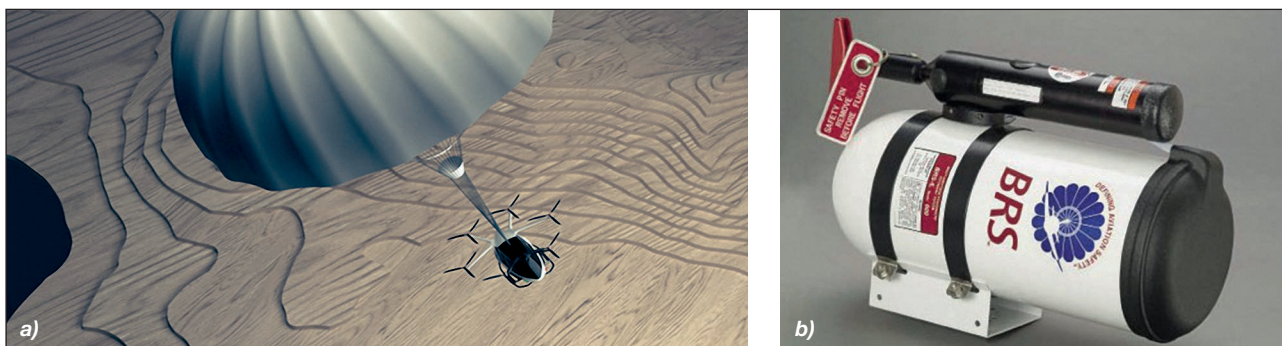
Amennyiben a magyar állam elsőként vállalja e légi járművek üzembe állítását, úgy reális az esély arra, hogy hazánkba kerüljön a további fejlesztés egy része, döntően a kompozit elemek gyártásának technológiázása, ezen belül a sárkány szerkezeti tömegének csökkentése és a sorozatgyártás feltételeinek kimunkálása, valamint az európai regionális gyártás is.

A hidrogén üzemanyagcellával működő Alaka'i Technologies Inc. SKAI modellje mentes a hibrid meghajtás, illetve az akkumulátoros energiatárolás előzőekben felsorolt hiányosságaitól. 6 db, forgószárnyait működtető villanymotorja tartósan, összesen 360 kW (495 LE) teljesítmény leadásra képes, forgatónyomatékuk 250 Nm, maximális fordulatszámuk 4500 ford/min. Elektromos táplálásukat a repülőeszköz padlójában elhelyezett 3 db HPEM (hidrogén proton áteresztő membrános) üzemanyagcellás rendszer biztosítja. Tömegük – a szivattyúkkal és egyéb kiegészítő elemekkel együtt – egyenként 125 kg, és külön-külön 120 kW (165 LE) az elektromos teljesítményük.

A SKAI hexakopteren alkalmazni tervezett kanadai gyártású PEM-cellák élettartama 20 000 h, maximális üzemi hőmérsékletük 90 °C. A működéshez szükséges oxigént a törzs két oldalán található torlólevegő-gyűjtőn beáramló környezeti levegőből nyerik. A folyamat során létrejövő csekély járulékos hő a törzs hátsó részén kialakított kis

* Egyetemi tanár, NKE Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék. ORCID: 0000-0002-9876-6760

** Tanársegéd, NKE Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék. ORCID: 0000-0002-5057-733X



55. ábra. A SKAI repülőgép mentőernyője működés közben a), és tárolási helyzetben b) ([26] alapján a szerzők szerkesztése)

méretű szellőzőrácson keresztül távozhat a szabadba. A tüzelőanyag-cellák 99%-ban újrahasznosíthatók. A gyártó szerint a cellákhoz nem szükségesek a lítium-ion akkumulátorokban található ritkaföldfémek, és több évtizednyi az élettartamuk, működtetésükhöz a hidrogén előállítása megújuló energiaforrásokkal (pl. szél-, nap- vagy vízenergia) biztosítható. A feltöltés időtartama is rövidebb, mint az akkumulátoroké, a művelet 10 percen belül elvégezhető.

A SKAI rendelkezik még beépített – a teljes repülőgépet menteni képes, közel teljes túlélési biztonságot nyújtó – fedélzeti repülőgép-mentőernyő rendszerrel (BRS – Ballistic Recovery System), (55 a) ábra) amelyet a törzsben, konté-

nerben helyeznek el. A szerkezetet rugós mechanizmus veti ki (55 b) ábra). A repülőgépet elhagyó rakéta pirotöltete működésbe lép, és egy kötel segítségével kihúzza a konténerből az ernyőt, amely az áramlásban fokozatosan kinyílik, előbb a függőleges haladási sebességet szünteti meg, majd 8–9 m/s-os függőleges süllyedést biztosít. Az ernyő hirtelen nyitását – ezáltal a lökészerű terhelés törzsre történő átadását –, a kötéletén lassan lecsúszó vászongyűrű akadályozza meg.

A gyártó a légi jármű pilóta által vezetett és UAV változatát is tervezi. A hatforgószárnyas (hexakopter) kialakításnak repülésbiztonsági szempontból kedvező sajátossága,

4. táblázat. A fejlesztés alatt álló SKAI helikopter fontosabb repüléstechnikai adatai (a szerzők szerkesztése)

Vízszintes repülési sebességek [km/h]	maximális	188
	utazó	175
	oldalirányú	48
	hátramenetben	48
Repülési teljesítményadatok	max. repülési magasság [km]	1,5
	max. repülési távolság [km]	640
	repülési idő [h]	2–4
Tömegadatok	üres tömeg [kg]	1400
	hasznos terhelhetőség [kg]	500, vagy 5 fő
Maximális hatósugara távirányítással		földön 80 km-ig, víz felett 160 km-ig
MEGHAJTÁS		
LH hidrogéntartály	térfogat [l]	400 (2×200)
	nyomás [bar]	7–9,5
	400 l LH tömege [kg]	29
Elektromotorok teljesítménye		230 kW, 4500 ford/min, 250 Nm, 98%-os hatékonyság
Az üzemanyagcella adatai	üzemi hőmérséklet	max. 90 °C
	teljesítmény	3×120 kW
	tömeg	cellánként 125 kg (szivattyúkkal együtt)
	várható élettartam [rep. óra]	20 000
Zajkibocsátás		<80 dB
ÜZEMELTETÉSI KÖLTSÉG		
Egy repült óra becsült költsége¹¹		30–50 USD/repült óra, 8700–14 500 Ft/repült óra



hogy egy adott konfigurációban akár két hajtómű leállása esetén is lehetővé teszi a stabilitás megőrzését, és a biztonságos kényszerleszállást.

A SKAI KATONAI ALKALMAZHATÓSÁGA

A katonai erők – különösen a szállítási terület – egyre kevésbé mentesülhetnek az alternatív energiák alkalmazása, valamint az egyre szigorodó környezetvédelmi követelmények teljesítése alól. Kiváló megoldást kínál erre a magyar részvétellel fejleszhető és gyártható SKAI hidrogén üzemanyagcellával működő eVTOL hexakopter. A hatékony katonai alkalmazás, megfelelő mobilitás és egyszerű(bb) műszaki kiszolgálhatóság szükségessé teszi a modell sürített (700 bar nyomású), gáz-halmazállapotú hidrogénnel történő működtetési lehetőségének átfogó vizsgálatát.

Az előzőekben bemutatott valamennyi feladatkör a honvédségnél is megjelenik, de ezeken túl egyéb – többek között határőrizeti, katasztrófavédelmi (ezen belül a vegyi- és sugárfelderítési), terrorselhárítási – funkciók ellátására is alkalmassá tehető.

Természetesen ez utóbbiak szükségessé teszik a prototípus némi szerkezeti módosítását, kisebb átalakítását is. Ilyenek lehetnek:

- külső függesztmény(ek)ként géppuskakonténer, FLIR-hőkamera, sugárást észlelő detektor, külső személyi csörlő stb. elhelyezhetőségének kialakítása;
- az időlegesen felszerelhető kevlár páncélzat rögzíthetőségének biztosítása a sárkány (ülések, hidrogéncellák és -tartályok), illetve a motorok sérülés szempontjából exponált helyein, elérve a STANAG Level 4 szintű védelemet;
- a fülke túlnyomásossá alakítása vegyi és sugárfelderítéshez, valamint a műszerfal világításának módosítása éjjellátó berendezés (NVG – Night Vision Goggles) alkalmazásához;
- elektronikai, illetve hibrid hadviselés elemeként a kritikus infrastruktúra-védelem, illetve -támadás (megfigyelés, bemérés, zavarás, rádiórelé-állomás stb.) eszközeinek elhelyezése.

A felsorolt módosítások, pótlólagos beépítések némileg csökkenthetik a repülőeszköz hasznos terhelhetőségét.

Kifejezetten kedvező a vizsgált konstrukció katonai alkalmazhatósága szempontjából, hogy szinte valamennyi, felderítésre, automata fegyverek irányzására, vezérlésére rendszeresített katonai eszköz detektálási tartományban (infra- és lokátor-sugárási) alacsony az észlelhetősége. A vizuális érzékelhetőség is csökkenthető megfelelő álcázó festéssel, fényt nem visszaverő bevonatú fülkeüvegezéssel.

A SKAI modellnél felsorolt „lopakodóképesség” a korszerű katonai alkalmazású UAV-eszközök esetében mindinkább alapelvárásnak számít. Mindez a korszerű, hidrogénnel történő, zero károsanyag-kibocsátású hajtáslánccal kiegészülve, feltétlenül célszerűsíti – e konstrukció tapasztalatait felhasználva és adaptálva – a Magyar Honvédség a határvédelem, a terrorselhárítás és a katasztrófavédelem számára mind nagyobb számban szükségessé váló, 150 kg-nál kisebb felszálló tömeg alatti kategóriába tartozó UAV hazai létrehozásának és gyártásának érdemi megfontolását. Természetesen mindez a megfelelő tapasztalatokkal és referenciákkal rendelkező, a korszerű és kívánt minőségű gyártást biztosító Genevation Aircraft Kft. bevonását és közreműködését feltételezi. Külön hangsúlyt ad az utóbbi koncepció megfontolásnak, hogy a Zrínyi HHP-ban is kiemelt jelentőségű a hazai hadiipari fejlesztés és előállít-



56. ábra. A Magnus eFusion motortere (Forrás: Magnus Aircraft Zrt.)

tás prioritása, különösen akkor – ha, mint ebben az esetben is – világszínvonalú, potenciálisan exportképes termékekről van szó.

MAGNUS

Magyarországon a Pécs-Pogány repülőtérén települő Magnus Aircraft Zrt. előbb a Siemens-szel, majd a Rolls-Royce-szal kooperálva készítette el a benzinmotoros Fusion 212 modelljéből, az eFusion nevű kísérleti elektromos repülőgépet, amelynek motorját lítium-ion akkumulátorok működtetik (56. ábra). A gyártó meghatározása szerint a kétüléses repülőgépet nem városi légi közlekedésre szánják, hanem alapvetően oktatásra, vészhelyzeti képzésre, valamint az akkumulátor-rendszerek további optimalizálására. Terveik szerint exportálni is kívánják, amely további bővítéseket is szükségessé tesz.

A gyártó szerint kedvező, hogy a légi jármű rezonancia-szintje lényegesen alacsonyabb, mint a dugattyús motoros változaté, így ezzel az eszközzel komfortosabb a repülés. Kisebbszervizigénye, nincs szükség a motor előzetes melegítésére, indítás után azonnal üzemkész, a károsanyag-kibocsátása zero, a motorja negatív túlterhelés esetén is változatlan megbízhatósággal, időkorlát nélkül működik. Az akkumulátorok 5 perc alatt cserélhetők, a gép üzemben tartásának költsége a benzines változaténak mindössze egyötöd része. A repülőgép kormányozhatatlanná válása esetén – a beépített mentőernyő segítségével –, a benne ülőkkel együtt képes a biztonságos földet érésre.

AIRIAL ROBOTICS

A németországi Hamburgban települő, pilóta nélküli repülőeszközök és berendezések gyártásával foglalkozó Aerial Robotics vállalat Angliában egy kiképző, Magyarországon, Ballószögön pedig egy – számottevő repülőipari és innovációs hagyományokkal rendelkező – kutató-fejlesztő bázist működtet. Ez utóbbi folyamatosan közreműködik a korszerű Gyrotrak elnevezésű eVTOL modelljük fejlesztésében is, amely az általuk szabadalmaztatott működési megoldását tekintve a hagyományos helikopter és az autogiró sajátos szerkezeti kombinációjaként – döntően mindkét légijármű-kategória előnyös tulajdonságait egyesítve – széles körű polgári és katonai felhasználásra egyaránt alkalmas (57. ábra).

A Gyrotrak forgószárnyát 1 vagy 2 db, szárnyvégi vonó-légcsavarjait további 1–1, kefe nélküli villanymotor hajtja meg. Ezek, a mindenkori repülési üzemmódhoz optimalizált szinkronizációját – a kormányvezérlő és navigációs



57. ábra. A Gyrotrak GT20 modell [28]

rendszerrel is integrált és együttműködni képes, a Spanyol Embention vállalat által gyártott – Veronte Autopilot elnevezésű automatikus vezérlőrendszer biztosítja¹². Segítségével a Gyrotrak mechanikusan meghajtott forgószárnyával képes helikopterként függőlegesen felemelkedni, leszállni és tetszőleges pont felett függeszkedni, illetve átérni vízszintes repülésre. A helikopter üzemmódban létrejövő reakciónyomatékokat a szárnyvégi légcsavarok differenciált vonóereje egyenlíti ki. A vízszintes haladási sebesség növekedésével a merev szárny egyenletes ütemben bekapcsolódik a felhajtóerő termelésébe, ezzel fokozatosan tehermentesítve a forgószárnyat. Emiatt ez utóbbi eszköz motorikus meghajtása ugyanebben az ütemben szükségelenné válik, és a megfelelő sebességet elérve, forgatása már csak a külső megfúvás hatására, autorotációs üzemben folytatódik. Azaz a repülőeszköz autogiróként (girocopterként) halad. Automatikus vezérlőrendszere lehetővé teszi az előre programozott útvonalrepülést, illetve – szükség szerint – távirányítással beavatkozva, annak azonnali manuális megváltoztatását, pályakorrekciót, valamint a merev és a forgószárnyas üzemmód közötti váltást.

Mivel a merev szárny a meghajtott forgószárnyal lényegesen hatékonyabban, kisebb energiafelhasználással hozza létre a függőleges emelőerőt, a Gyrotrak kategóriájában kiemelkedő gazdaságossággal működtethető eszköz, repülés ideje a 2,5 h-t, hatótávolsága a 150 km-t is elérheti. Utazósebessége 90 km/h, a maximális sebessége 150 km/h. E szerkezeti kialakítás járulékos kedvező következménye, hogy akár valamennyi motorjának meghibásodása esetén is biztonságosan leszállhat autorotálva, illetve „merevszárnyán vitorlázórepülve”. Ilyenkor siklószáma az 1:13 értéket is elérheti.

A kompozit építésű, mindössze 7,5 kg üres tömegű légi jármű legnagyobb felszálló tömege 20 kg lehet. Ennek megfelelően, a maximálisan 12,5 kg-os hasznos terhelhetőség a szállítandó rakomány és az alkalmazott akkumulátor tömegének célszerű kombinációjával alakítható ki. A fedélzeten elhelyezhető eszköz(ök) általában nappali vagy infravörös kamerák, multispektrális érzékelők, lézerradar (LIDAR – Light Detection and Ranging), teherkonténer, permetező berendezés, és/vagy opcionálisan ütközésselkerülő rendszer, transzponder, látóhatáron túli, intelligens célkövető (BVLOS – Beyond Visual Line of Sight) eszközök valamelyike. A megvalósítandó feladat időtartamától, repülési távolságától, valamint az alkalmazott fedélzeti eszköz(ök) tömegétől és a motorok együttes energiaigé-



58. ábra. A Gyrotrak GT20-hoz rendszeresített, különböző teljesítményű és tömegű Gyropack akkumulátorok [28]



59. ábra. A Gyrotrak GT20 moduláris törzskialakítása [28]

nyétől függően, a három különböző szerkezeti tömegű és kimenő teljesítményű Gyropack akkumulátor valamelyike (S/12S9P, 6,2 kg; M/12S12P, 7,9 kg és L/12S15P, 9,5 kg) alkalmazható. (58. ábra) [28]. A szállítható hasznos terhek egyszerű elhelyezését, gyors beépítését és cseréjét a törzs moduláris kialakítása teszi lehetővé (59. ábra).

KÖVETKEZTETÉS

A globális keretek között is egymással szorosan összefüggő problémák (a népességrobbanás miatt folyamatosan növekvő energiaigény, a hagyományos energiahordozók okozta környezetszennyezés és az ezáltal (is) előidézett klímaváltozás, a tömeges urbanizáció, a fosszilis energiahordozók utánpótlásának néhány évtizeden belül bekövetkező drasztikus csökkenése) szükségessé teszi – a (légi) közlekedésben is – a környezetbarát, alternatív energiák széleskörű bevezetését. Ezen belül a repülésben jelenleg is egyik kiemelten fontos terület az elektromos meghajtás tömeges alkalmazása. Ez a típusú energia azonban a – különösen az energiatárolási, utántöltési nehézségei okán hosszú ideje létező – számos félmegoldás, kompromisszum belátható időn belül történő elhárítását, megnyugtató rendezését teszi szükségessé, lehetőség szerint alkotó hazai részvétellel.

A magyarországi kutatásokra és fejlesztésekre már napjainkban is több eredményes és biztató jövőt ígérő példát láthatunk. Kiemelkedő a Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Karának (NKE HHK) repülőszakember-képzéssel foglalkozó tanszékei oktatói, hallgatói által folytatott többéves, átfogó kutató-fejlesztő munka. Ennek során az NKE több külső résztvevővel is együttműködik, így a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar (BME KJMK) Repüléstudományi és Hajózási Tanszékeivel, valamint a Honvédkórház kecskeméti Repülőorvosi-, Alkalmasságvizsgáló és Gyógyító Intézet – ezen belül a Szegeди Tudományegyetem ÁOK Repülő, és Űrorvosi Tanszék – munkatársaival, kutatóival. A résztvevők, munkájuk során átfogóan vizsgálják az alternatív, megújuló energiák repülésben, illetve annak földi kiszolgálásában történő gazdaságos és környezetkímélő hasznosítási lehetőségeit. Kiemelt figyelmet fordítanak a pilóta nélküli repülőeszközök



szerkezeti energetikai innovációjára, az egyre szélesebb körű alkalmazási módzatok feltárására, valamint az ilyen típusú eszközök repüléssirányítására, meteorológiai biztosítására és az operátorok egészségügyi, pszichológiai kiválasztásának, felkészítésének kérdéseire.

E területen, több más hazai résztvevő mellett eredményes kutatást folytat még az Óbudai Egyetem, valamint nemzetközileg elismert eredményekkel rendelkeznek a BHE – Bonn Hungary Electronics Ltd., pilóta nélküli repülő rendszerekkel (UAS – Unmanned Aircraft System) és űripari eszközökkel foglalkozó fejlesztései is.



A GINOP 2.3.2-15-2016-00007 „A légitársaságok biztonságához kapcsolódó interdiszciplináris tudományos potenciál növelése és integrálása a nemzetközi kutatás-fejlesztési hálózatba a Nemzeti Közszolgálati Egyetemen – VOLARE” című projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Regionális Fejlesztési Alap társfinanszírozásával valósul meg.

A tanulmány a fenti projekt „AVIATION_FUEL” nevű kiemelt kutatási területéhez kapcsolódóan valósult meg.

HIVATKOZOTT IRODALOM

- [13] „The Economist. Hydrogen goop could be a more convenient fuel than hydrogen gas” The Economist 2021.2.27. <https://www.economist.com/science-and-technology/2021/02/25/hydrogen-goop-could-be-a-more-convenient-fuel-than-hydrogen-gas> (Letöltve: 2021.4.24.);
- [14] Brian Garrett-Glaser, „Marine Corps Partners with Air Force Agility Prime on eVTOL Aircraft for Logistics” Aviation Today, 2020.3.10 <https://www.aviationtoday.com/2020/03/10/marine-corps-partners-air-force-agility-prime-evtol-aircraft-logistics> (Letöltve: 2021.4.24.);
- [15] OPS, “Unmanned team of K-MAX® helicopter and Indago quadrotor demonstrate firefighting capability” 2014.11.19 <https://operationnels.com/2014/11/19/unmanned-team-of-k-max-helicopter-and-indago-quadrotor-demonstrate-firefighting-capability> (Letöltve: 2021.4.24.);
- [16] Forrás: <https://hu.pinterest.com/pin/794744665472830564> (Letöltve: 2021.4.24.);
- [17] Gyurkity Péter, „A NASA is hibrid repülőn dolgozik” SG.hu, 2016. 1. 13. <https://sg.hu/cikkek/tudomany/116822/a-nasa-is-hibrid-repulon-dolgozik> (Letöltve: 2021.4.24.);
- [18] Forrás: <https://imechewebsites.blob.core.windows.net/imeche-web-content/images/default-source/default-album/e-thrust-econcept-view-h1-20130607.jpg> (Letöltve: 2021.3.10.);
- [19] Bowler, Tim, „Why the age of electric flight is finally upon us” BBC News, 2019.7.3. <https://www.bbc.com/news/business-48630656> (Letöltve: 2021.4.24.);
- [20] „Új alumínium-levegő akkumulátort mutattak be” iPon. hu, 2014.06.11. <https://ipon.hu/magazin/cikk/uj-aluminiium-levego-akkumulatort-mutattak-be> (Letöltve: 2021.4.24.);
- [21] Szemerédy László, „Alumínium-levegő energiaforrás” Autotechnika 2014. <https://autotechnika.hu/cikkek/motor-eroatvitel/10805/aluminiium-levego-energiaforras> (Letöltve: 2021.4.24.);
- [25] Forrás: <http://evtol.news/aircraft/alakai-technologies-skai/> (Letöltve: 2021.3.10.);
- [26] „Skai - magyar-amerikai együttműködéssel készült a világ első hidrogénhajtású dróntaxija” Zöldhajtás.hu, <http://zoldhajtás.hu/fuelcell/skai-magyar-amerikai-egyuttmukoedessel-keszuilt-a-vilag-első-hidrogenhajtásu-drontaxija> (Letöltve: 2021.3.10.);
- [27] Gáti Balázs, Koncz Imre *Repülőgépek szerkezetan*, jegyzet, BME KK, 2010;
- [28] “Gyrotrak Technology” Aerial Robotics, 2020.6.15. <https://airialrobotics.com/gyrotrak-technology/> (Letöltve: 2021.3.10.).

JEGYZETEK

- 10 Előimpregnált erősítő anyagok használata (Prepreg Method): a modern repülőgépek csúcsmínőségű szerkezeti elemeinek gyártásához legelterjedtebben alkalmazott eljárás, amelyhez olyan előre impregnált erősítőszálakat, szöveteket (UD & fabric prepregs) alkalmaznak, amelyeket erre szakosodott üzemekben automata gépsorokon készítenek. A „gyárilag előimpregnált anyagokat mindkét oldalukon beborítják elválasztó fóliával, (esetenként viaszos papírral), ilyen formában tekercselik föl, és mínusz 18 °C alatti hőmérsékletre hűtik, megállítva, illetve rendkívül lelassítva a polimer mátrix térhálósodását. Az így elkészült alapanyagot fagypontra szállítják, a gyártó által előírt hőfokon (általában –12 °C és –20 °C közötti hőmérsékleten) kell tárolni (és lehetőség szerint szállítani is) a felhasználásig. A „prepregekhez” használatos mátrixanyagok igen hosszú felhasználhatósági idővel rendelkeznek (általában 1–5 hét), így igen nagyméretű munkadarabok is nagy biztonsággal és megbízható minőségben készíthetők ezzel a módszerrel. Az eljárás sokkal tisztább és megbízhatóbb, mint a nedves impregnálás, emellett jóval kisebb élőmunka ráfordítással jár, ami részben, vagy teljes egészében ellensúlyozza az alapanyag magasabb árát. A jelenleg alkalmazott „prepreg gyanták” környezeti hőmérsékleten nem térhálósíthatók, ezért minden esetben magasabb hőmérsékletet kell biztosítani a térhálósító kúra alatt. [27, 74–75. o.]
- 11 Az üzemeltetési költségek és a hidrogén árának függvényében, az amortizáció figyelembevétele nélkül.
- 12 A Veronte Autopilot automatikus vezérlőrendszer együttműködik a tehetetlenségi (inerciális) navigációs rendszerrel (INS – Inertial Navigation System), amely külső segítség nélkül képes hordozóeszköze helyzetének, haladási irányának és sebességének megállapítására. Együttműködik továbbá az ismert globális helymeghatározó rendszerekkel (GPS – Global Positioning System): az Amerikai Egyesült Államok Védelmi Minisztériuma által katonai célokra kifejlesztett globális műholdas navigációs rendszerrel (GNSS), az orosz GLONASSZ rendszerrel és az Európai Unió által fejlesztett Galileo-val is. (A szerk.)